

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ



ФАКУЛЬТЕТ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ И СЕТЕЙ

КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ 61-ОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ АСПИРАНТОВ,
МАГИСТРАНТОВ И СТУДЕНТОВ БГУИР

Минск 2025

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования

«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Факультет компьютерных систем и сетей

Материалы 61-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР

по направлению

КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

(Республика Беларусь, г. Минск, 22–26 апреля 2025 г.)

Научное электронное издание

Минск БГУИР 2025

© УО «Белорусский государственный
университет информатики и
радиоэлектроники», 2025

61-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР

Комиссия конференции:

Ульянов Николай Николаевич — декан ФКСиС, кандидат технических наук, доцент, председатель комиссии по организации и проведению конференции «Компьютерные системы и сети»;

Русин Виталий Геннадьевич — заместитель декана ФКСиС.

Лапицкая Наталья Владимировна — кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой ПОИТ.

Григорьев Александр Александрович — кандидат физико-математических наук доцент, заведующий кафедрой физики.

Малыхина Галина Ивановна — кандидат философских наук, доцент, заведующая кафедрой философии.

Сиротко Сергей Иванович — кандидат технических наук, доцент, исполняющий обязанности заведующего кафедрой информатики.

Никульшин Борис Викторович — кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой ЭВМ.

Азаров Илья Сергеевич — доктор технических наук, заведующий кафедрой ЭВС.

Баркова Елена Александровна — кандидат физико-математических наук, доцент, заведующая кафедрой Высшей Математики.

Деменковец Денис Викторович — старший преподаватель кафедры ПОИТ, зам. Декана по научной работе ФКСИС, ответственный за подготовку, выпуск программы электронного сборника тезисов докладов конференции «Компьютерные системы и сети».

В сборнике опубликованы материалы докладов, представленных на 61-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР по направлению «Компьютерные системы и сети». Авторами рассматриваются вопросы имитационного моделирования, численных методов, новых информационных технологий в образовании, радиоэлектронике, телекоммуникациях, вычислительных сетях, а также возможности современных систем автоматизированного проектирования.

Материалы одобрены оргкомитетом и публикуются с учетом того, что авторская позиция и стилистические особенности публикаций полностью сохранены при соблюдении требований к оформлению.

Сборник предназначен для широкого круга специалистов в области электронных систем и технологий, а также будет полезен научным и инженерно-техническим работникам, преподавателям, аспирантам, магистрантам и студентам технических специальностей.

© УО «Белорусский государственный
университет информатики
и радиоэлектроники», 2025

СЕКЦИЯ 1
«ЭЛЕКТРОННЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ»

АЛГОРИТМЫ СЕГМЕНТАЦИИ ПРИ ОБРАБОТКЕ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ
Хатеневич А.А. 17

АНИМАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ
Климович А.Н. 23

ДЭТЭКЦЫІ І КЛАСІФІКАЦЫІ ЖЭСТАЎ РУК НА RASPBERRY PI ZERO 2W
Бекетаў Я.Д. 28

О ПЕРВЫХ АЛГОРИТМАХ СБОРКИ ГЕНОМА
Протько М.А 32

ПРИМЕНЕНИЕ RGB-D ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ
Черноок А.Ю 37

СЕГМЕНТАЦИЯ СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ
Ерофеев В.С 44

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОГРАММНОГО КОДА, НАПИСАННОГО ЧЕЛОВЕКОМ И СГЕНЕРИРОВАННОГО ИИ
Желтко Ю.Ю 49

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПЕРАЦИЙ СВЕРТКИ НА ЦЕНТРАЛЬНОМ И ГРАФИЧЕСКОМ ПРОЦЕССОРАХ
Болашенко В.С. 53

УВЕЛИЧЕНИЕ РАЗРЕШЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ
Гаращук Н.В 58

ГЕНЕРАТОР БЛОК-СХЕМЫ АЛГОРИТМА НА ОСНОВЕ ИСХОДНОГО КОДА
Буринский Н.А 63

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ РЛС
Клинцевич Е.Е 65

ОРГАНИЗАЦИЯ МИКРОСЕРВИСНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ПЛАТЕЖНОЙ-ФИНАНСОВОЙ СИСТЕМЫ
Горбачевский М.В., Горбачевский К.В. 66

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС «ФОТОКАМЕРА МГНОВЕННОЙ ПЕЧАТИ С АДАПТИВНОЙ ОБРАБОТКОЙ ИСХОДНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ»
Ледохович Т.Т 67

РЕАЛИЗАЦИЯ ПЛИС НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ATMEGA328
Голов А.С., Лагутик Р.Ю 68

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ СКЛЕЙКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПАНОРАМНЫХ СНИМКОВ
Феденков К. К 70

СТЕГАНОГРАФИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ НА ПЛАТФОРМЕ ARDUINO
Ананьева Т.М., Шахновский С.А 71

СЕКЦИЯ 2
«ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО ДИАГНОСТИКИ НАРУШЕНИЙ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА У ДЕТЕЙ И ВЗРОСЛЫХ
Глушаченко Н.С, Деменковец Д.В *74*

О ПРОБЛЕМЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОВЕРКИ ОТКРЫТЫХ ВОПРОСОВ ПРИ ТЕСТИРОВАНИИ
Тимошек Е.С *78*

ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАССИРОВКИ ПУТи В VULKAN ЧЕРЕЗ КЛАСТЕРИЗАЦИЮ ГЕОМЕТРИИ И РАЗДЕЛЕНИЕ СТРУКТУР УСКОРЕНИЯ ВЕРХНЕГО УРОВНЯ
Акименко А.В. *83*

КЛАССИФИКАЦИЯ ВИДОВ ТРАНСПОРТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ акустических ПРИЗНАКОВ
Януцевич Д.В., Марковский И.М *90*

МЕТОДЫ ГЕНЕРАЦИИ ТОЧЕК НА ПОВЕРХНОСТИ ПОЛУСФЕРЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В АЛГОРИТМАХ С ТРАССИРОВКОЙ ЛУЧЕЙ
Сакун И.Ю., Красковский П.Н *96*

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ПОДХОДЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СВЁРТОЧНЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ
Птуха В.И *104*

РАЗРАБОТКА ДОСТУПА К ОБЛАЧНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЕ: СТРАТЕГИИ, МЕТОДЫ, АРХИТЕКТУРА
Яшин А.К. *112*

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО УЧЕТА И ПЛАНИРОВАНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОПЕРАЦИОННЫХ БЛОКОВ
Еремейчик К.Ю., Малашенко Д.А. *114*

АНАЛИЗ ТЕКСТА МЕТОДОМ ИЗВЛЕЧЕНИЯ КОЛЛОКАЦИЙ
Джаримбетов.Т.Б. *116*

МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА И МОНИТОРИНГА АКУСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГОЛОСА
Данилов Ф.А., Деменковец Д.В. *118*

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ БРОНИРОВАНИЯ НОМЕРОВ И УСЛУГ В ОТЕЛЯХ НА ПЛАТФОРМЕ .NET
Денисова Е.А. *120*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭМОЦИОНАЛЬНОГО ФОНА ТЕКСТОВ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ NLP
Павлюченко К.А. *122*

СИСТЕМА АНАЛИЗА КАЧЕСТВА РАБОТЫ СОТРУДНИКОВ НА ОСНОВЕ ГОЛОСОВЫХ ЗАПИСЕЙ ОБСЛУЖИВАНИЯ КЛИЕНТОВ
Пастухов К.Д., Янкова А.Д *124*

СОЗДАНИЕ ANDROID-ПРИЛОЖЕНИЯ, ПОМОГАЮЩЕГО СПОРТСМЕНАМ ОТСЛЕЖИВАТЬ РЕЗУЛЬТАТЫ
Пышный Е. С. *126*

СИСТЕМНЫЙ ДИЗАЙН ДЛЯ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ПРАКТИКИ РЕШЕНИЯ АЛГОРИТМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ
Тишалович М.А *128*

ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА НА ПРИМЕРЕ СЕРВИСА ТАКСИ
Сапраньков Ф.А. *130*

МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ АНАЛИЗА ВИБРОСИГНАЛОВ
Стахнов Н.А *132*

ПРИМЕНЕНИЕ ПАТТЕРНА FAN-OUT ДЛЯ ОБНОВЛЕНИЯ ЛЕНТЫ В ПРИЛОЖЕНИИ ДЛЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ТЕМАТИЧЕСКИХ СООБЩЕСТВАХ
Алексеева К.А *133*

ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО МЕТОДА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЙ
Завалюк Д.Н. *134*

УПРАВЛЕНИЕ ЦВЕТОМ RGB-СВЕТОДИОДА ПОСРЕДСТВОМ ИНТЕРФЕЙСА UART НА FPGA
Крагель В.А., Бобрик А.Ю *136*

ОПТИМИЗАЦИЯ ОБНАРУЖЕНИЯ КОЛЛИЗИЙ МЕЖДУ ОБЪЕКТАМИ В ТРЕХМЕРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ
Абрашин Т.Ю., Радецкий А.Н. *138*

СЖАТИЕ ВИБРОСИГНАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА
Вергель И.В., Климчук А.И *140*

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО ПРОСМОТРА И АНАЛИЗА КОМПЬЮТЕРНЫХ ТОМОГРАММ DICOM
Иваненко Д.А. *142*

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ НАУЧНЫХ КОЛЛЕКТИВОВ
Негбоев А.Н. *144*

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИ НЕКЛОНИРУЕМЫХ ФУНКЦИЙ
Малявко Н.В *146*

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ВИЗУАЛИЗАЦИИ И СРАВНЕНИЯ АЛГОРИТМОВ И СТРУКТУР ДАННЫХ
Куликов С.С., Матюшенко В. А *148*

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА УПРАВЛЕНИЯ УЧЕБНЫМ ПРОЦЕССОМ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ УЧРЕЖДЕНИИ
Лозюк В. В. *149*

АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ РАСХОДОВ НА КОНТЕКСТНУЮ РЕКЛАМУ
Харлап Д.О. *151*

РЕДАКТИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА МОБИЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЕ IOS
Харитоненко Д.А. *152*

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ IP-ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ В СИСТЕМАХ БЕЗОПАСНОСТИ
Босько В.С. *154*

АЛГОРИТМ ИНСТАНЦИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ С РАЗНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ
Барилко М.А., Алейник И.С. *156*

СОЗДАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ РОЛЕВОЙ ИГРЫ С ОТКРЫТЫМ МИРОМ НА ИГРОВОЙ ПЛАТФОРМЕ MINECRAFT
Бурбовский Е.А. 158

ВНЕДРЕНИЕ ВИРТУАЛЬНОЙ ВАЛЮТЫ В МОБИЛЬНЫЕ И ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ
Буховец А.Г. 160

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МОДУЛЕЙ ЯДРА ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С МИКРОЯДЕРНОЙ АРХИТЕКТУРОЙ
Шлык П.А. 162

ГЕНЕРАЦИЯ 3D-МОДЕЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ
Шафаренко Д. И. 164

СЕКЦИЯ 3
С
«ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА»

КОНЦЕПЦИЯ СЧАСТЛИВЫХ ЧИСЕЛ КАК ОБЪЕКТ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
Аврусевич В.В., Мазалевич П.В 166

ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В НЕЙРОНАУКЕ
Иосько М.А., Горбель А.А 171

ЗАДАЧА КОММИВОЯЖЕРА
Харкевич М.А, Заривняк В.С 176

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИГРОВОЙ СИТУАЦИИ В ВИДЕОИГРЕ RISK OF RAIN 2
Анисенко Е.В. Сидоров А.А. 182

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АРИФМЕТИЧЕСКИХ ПРОГРЕССИЙ ПРОСТЫХ ЧИСЕЛ ПРИ ХЕШИРОВАНИИ ПО ОСТАТКУ ОТ ДЕЛЕНИЯ
Климинтионак В.С, Кужик Д.С 187

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ ОТКЛОНЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ПРОСТЕЙШЕЙ ИГРЫ
Волынец В.И. Хренков Д.Д 190

ФРАКТАЛЫ
Карнюшкова М.М., Бабичева А.А 194

СУММИРОВАНИЕ РАСХОДЯЩИХСЯ ЧИСЛОВЫХ РЯДОВ
Кравцова В.К 199

ПЕРИОД ПИЗАНО
Родулевич А. О., Курстак Т. И. 201

ПРОСТЫЕ ЧИСЛА МЕРСЕННА
Бондаровец В.В, Доманькова В.В 206

ЗАМЕЧАТЕЛЬНЫЕ КРИВЫЕ (В ПОЛЯРНЫХ КООРДИНАТАХ)
Боровик А.А., Новик У.А 211

КЛЕТОЧНЫЕ АВТОМАТЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ
Елаш Н.Д., Ефимчик К.П. 217

ИСТОРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ШИФРОВАНИЯ: КРИПТОСИСТЕМЫ ХИЛЛА И КАРДАНО
Державская Е. В., Линник М. В 223

ОПТИМИЗАЦИЯ МАРШРУТИЗАЦИИ В КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРАДОКСА БРАЕССА И РАВНОВЕСИЯ ПО НЭШУ
Драко М. Д., Лесковский Е. Е 227

СВЯЗЬ МАТЕМАТИКИ И МУЗЫКИ
Лобачевская М.В, Поддубная Е.И.....234

ДИЛЕММА ЗАКЛЮЧЕННОГО: ПАРАДОКС РАЦИОНАЛЬНОСТИ И СОТРУДНИЧЕСТВА
Литвинович А.В., Хомич Н.М., Чумаков М.С.....239

ПАРАДОКСАЛЬНЫЙ МИР НЕВОЗМОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ
Кравченко А.В. Сидоренко Е.С. 243

МОДЕЛЬ СИНХРОНИЗИРОВАННОЙ РИТМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В КОЛОНИЯХ МУРАВЬЕВ
Снитко Р., Сазанович М. 247

МАТЕМАТИКА ИГРОВОГО БАЛАНСА
Бизюк Д.С., Тытуш Е.А.....251

ПАРАДОКС МОНТИ ХОЛЛА В ПОВЕДЕНИИ ПОТРЕБИТЕЛЯ
Радвилович Д.Д., Рубцова А.С., Хартанович У.И.....259

ФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В КОМПЬЮТЕРНОМ ЗРЕНИИ
Рында Р.Д., Василевский В.В. 263

СТРАННЫЕ АТТРАКТОРЫ
Махонь М.В., Прокашко Т.И.....265

СЕКЦИЯ 4

«ФИЗИКА»

СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ ПОМЕХ С ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТЬЮ В СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СЕНСОРАХ
Юшко Д.Е. 272

ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ
Ридецкий А.А. ,Мисоченко В.А.....279

ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ, СИНГУЛЯРНОСТИ, ИСКРИВЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ: ОКНО В НОВУЮ ФИЗИКУ
Ануфриев Ю.С., Воинов В.С. 281

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КВАДРУПОЛЬНЫХ СИСТЕМ
Грабовский А.К.....283

ИННОВАЦИИ В ОБЛАСТИ КВАНТОВЫХ ПРОЦЕССОРОВ
Жуковский Г. Н., Кузьмицкий М. И.....285

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КАПЕЛЬНОЙ ЛИНЗЫ
В. В. Василевский Е. А. Павлов 288

СПИНТРОНИКА И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СВЕТА С МАГНИТНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ
Шеверденко А.В., Лагун В.С., Шабунько О.В 290

КВАНТОВЫЙ ТУННЕЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ В ЗВЕЗДНОМ НУКЛЕОСИНТЕЗЕ
Сиз Р.В., Шейко Д.В.....293

КВАНТОВАЯ ТЕЛЕПОРТАЦИЯ: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРИНЦИПЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ
Дубов Н.А., Каленик С.А.....295

ПРИНЦИП РАБОТЫ ОПТИЧЕСКОГО ПИНЦЕТА
Артюшкевич Г.Д., Бердова Э.А.....299

ГЕНЕРАЦИЯ ТГЦ ИЗЛУЧЕНИЯ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУРАХ, ОБЛУЧАЕМЫХ ФЕМТОСЕКУНДНЫМИ ЛАЗЕРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ
Иванович В.Д. 303

МАГНИТОГИДРОДИНАМИКА И ЕЁ ПРИМЕНЕНИЕ В ЭНЕРГЕТИКЕ
Писарева Е.А 307

УСТРОЙСТВО ПАМЯТИ. FLASH-ПАМЯТЬ. DRAM. SRAM. SSD. ROM
Пупенко М.М. Дрожжа И.М.....311

СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ МАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ
Кравчинская Д.Н.,Тумаш Ю.М. 316

ЭФФЕКТ ХОЛЛА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ
Елаш Н.Д., Ефимчик К.П. 320

СПОСОБЫ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДОЛОГИИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ЭЛАСТОМЕТРИИ
Рязанова Е. С., Кожемякина М. В.....325

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ПОМОЩЬЮ РЕШЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ
Адамович К.В., Криващёкая А.Д., Щурко А.А.....327

ВОЛНОВОЕ УРАВНЕНИЕ ДИРАКА
Волынец М.В. 331

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ В НАНОФОТОНИКЕ
Капельян С.В., Решетник П.В....333

КВАНТОВАЯ ГРАВИТАЦИЯ
Ващилко Е.С.,Дингилевская А.А. 337

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТИТАНОВЫХ НАНОТРУБОК ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В МЕДИЦИНСКИХ ИМПЛАНТАТАХ
Иванов П. И. 339

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ЗАПИСИ И СЧИТЫВАНИЯ НА ПЗС – МАТРИЦЕ
Ковалевский Я. Н. 341

ОПТИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ: МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ГАЗОВ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОЦЕССАХ
Короб Г. С., Квартальный А. С.....347

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦЫ В НЕОДНОРОДНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ В СРЕДЕ MATHCAD
Красько А.П. 350

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДЕГРАДАЦИИ ЛИТИЙ-ИОННЫХ БАТАРЕЙ МЕТОДОМ MACHINE LEARNING
Кузьмич П.В., Ложечка А.А.....352

ОТ ГИПОТЕЗЫ К КВАНТОВОЙ РЕАЛЬНОСТИ: ПУТЬ К ПОНИМАНИЮ КОРПУСКУЛЯРНО-ВОЛНОВОГО ДУАЛИЗМА
Москалькова А. Ю., Кухарёнок А. С. 357

КВАНТОВЫЕ ТОЧКИ, ИХ ПРИМЕНИМОСТЬ И СВОЙСТВА
Муравьёв Д.А. 359

ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ: ТЕРМОДИНАМИКА, ИЗЛУЧЕНИЕ ХОКИНГА
Ляшко М.С., Левоненко Ю.И.....361

ФРАКТАЛЬНАЯ РАЗМЕРНОСТЬ КРУПНОМАСШТАБНОЙ СТРУКТУРЫ ВСЕЛЕННОЙ
Хоменков Р.А. *365*

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА РАБОТУ КРЕМНИЕВЫХ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ
Иванов В.Д., Карасик В. Б *367*

P-N ПЕРЕХОД И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ
Бизюк Д.С., Тытуш Е.А. *372*

БОЗОНЫ: КЛАССИФИКАЦИЯ, СВОЙСТВА И РОЛЬ В ФИЗИКЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ
Шурпо Т.В., Княжевич К.А. *378*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК В МЕДИЦИНЕ
Сакович М.С., Соловьёв А.Я *379*

СРАВНЕНИЕ ЧАЭС И БЕЛАЭС
Пухаева Н.С. *383*

АНАЛИЗ ПРИНЦИПОВ РАБОТЫ И ПРИМЕНЕНИЯ ДАТЧИКОВ ДВИЖЕНИЯ, ОСНОВАННЫХ НА ЭФФЕКТЕ ДОПЛЕРА
Литвинович А. А. *386*

СЕКЦИЯ 5

«ИНФОРМАТИКА»

ПРИМЕНЕНИЕ КЛАССИЧЕСКОГО МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ГЕМАТОЛОГИИ
Славинский Г.А *389*

МЕТОДЫ АНАЛИЗА ДАННЫХ И ОПТИМИЗАЦИИ РЕКЛАМНЫХ СТРАТЕГИЙ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ
Борисюк Ф.А. *394*

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АДАПТИВНОГО ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА БИОМЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ
Гриценко Н.Ю. *400*

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АССИМЕТРИЧНОГО СЕМАНТИЧЕСКОГО ПОИСКА НА ОСНОВЕ МНОГОМЕРНЫХ ВЕКТОРНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ТЕКСТОВЫХ ДАННЫХ
Рябинкин Г.М. *407*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ FASTAPI, DJANGO И FLASK: ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ, УДОБСТВО РАЗРАБОТКИ И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ФРЕЙМВОРКА ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ
Худницкий А.В., Шауро Е.А. *412*

НЕЙРОСЕТЕВОЙ АНАЛИЗ УРОВНЯ СТРЕССА ПО ТЕКСТОВЫМ ДАННЫМ
Кашко А.А. *416*

АЛГОРИТМ СЖАТИЯ ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НУМЕРАЦИИ ПЕРЕСТАНОВОК
Могилевец Д.Э., Максименков В.А. *422*

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ УРОВНЯ ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ И ОБЪЕМА ВЫБРОСОВ CO2 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИБЛИОТЕКИ PANDAS
Козлова Т.В. *428*

ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ PYTHON
Канавальчик А.Д. *432*

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ДИСКРЕТНОЙ МАТЕМАТИКИ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ РАСПИСАНИЯ ПРИ РАЗВЕРТЫВАНИИ ПРИЛОЖЕНИЙ ИСПОЛЬЗУЯ СРЕДУ KUBERNETES
Хадорик М.Д *439*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЕ ГИПЕРПАРАМЕТРОВ НА КАЧЕСТВО ОБУЧЕНИЯ МНОГОСЛОЙНОГО ПЕРСЕПТРОНА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОЭЛЕМЕНТНОГО ГРАДИЕНТНОГО СПУСКА
Михалко А.Н., Филон Д.А. *444*

ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАЧИСЛЕНИЯ В УЧРЕЖДЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ПРИ РАБОТЕ С БОЛЬШИМИ ДАННЫМИ НА ПРИМЕРЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПОДАЧИ ЗАЯВЛЕНИЙ И ЗАЧИСЛЕНИЯ БГУИР
Владымцев В.Д., Могилевец Д.Э. *455*

РЕАЛИЗАЦИЯ GRAPHREADER-АГЕНТА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ RAG С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ NEO4J, LANGCHAIN И LANGGRAPH
Кулевич А. О. *461*

ИССЛЕДОВАНИЕ ФНФ КОЛЬЦЕВОГО ОСЦИЛЛЯТОРА КАК ИСТОЧНИКА СЛУЧАЙНОСТИ
Бурко Л.А *464*

СЖАТИЕ АУДИОФАЙЛОВ БЕЗ ПОТЕРЬ С ПОМОЩЬЮ КОМБИНАЦИИ МЕТОДОВ КОМПРЕССИИ БАЙТОВЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ
Ануфриев Д.И., Максименков В.А *467*

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ АРЕНДЫ РАБОЧИХ ПРОСТРАНСТВ
Абрамович П.Н. *470*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАДАЧИ О НАИБОЛЬШЕМ 2-ДИССОЦИИРУЮЩЕМ МНОЖЕСТВЕ
Бердник Л. А. *471*

МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ БРОНИРОВАНИЯ ПАРКОВОЧНЫХ МЕСТ
Жагоров А.С. *473*

ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПЛАТФОРМА «LOGICLEAP»
Кузнецов Е.А. *474*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОЦЕДУРНОЙ ГЕНЕРАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ТРАСС ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ АВТОПИЛОТОВ
Мацуев Н.В. *475*

АЛГОРИТМ РАСПОЗНАВАНИЯ НОМЕРОВ ДОМОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ И ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ
Новик В. В. *477*

АЛГОРИТМ ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОЙ КОРРЕКЦИИ ПОКАЗАНИЙ КОМПЛЕКСА НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА ГЛЮКОЗЫ
Сарычев В.В. *479*

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ПОИСКА И СОЗДАНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ИНТЕРЕСАМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ РЕКОМЕНДАЦИЙ
Сачивко В.Г. *481*

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ КОМПАНИИ 360TOUR
Стешиц Д.Н. 482

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ВЕДЕНИЯ ПЕРСОНАЛЬНОГО БЛОГА С НОВОСТНОЙ ЛЕНТОЙ
Тепляков А.А. 483

АППРОКСИМАЦИЯ НЕЯВНО ЗАДАННЫХ ФУНКЦИЙ СУММОЙ ЭКСПОНЕНТ
Могилевец Д.Э., Романовский М.Д. 484

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РОБАСТНЫХ МЕТОДОВ РЕГРЕССИИ ПРИ НАЛИЧИИ ВЫБРОСОВ В ДАННЫХ
Косяков М.М, Таргонский Д.А. 486

СЕКЦИЯ 6

«ФИЛОСОФИЯ, ЛОГИКА И ЖИЗНЬ»

ФИЛОСОФИЯ ЭКОНОМИКИ ДРЕВНЕЙ ГРЕЦИИ
Смоляков В.А. 489

ЭВОЛЮЦИЯ ПОНЯТИЯ ТЕХНИКИ И ЕЕ СОВРЕМЕННЫЕ ИНТЕРПРЕТАЦИИ
Русецкий А.Д. 491

ФИЛОСОФСКИЙ АНАЛИЗ ПОНЯТИЯ “БОЛЬШИЕ ДАННЫЕ”
Ладкина М-И. И. 493

СОЗНАНИЕ ЧЕЛОВЕКА КАК ОБЪЕКТ СОЦИАЛЬНО-ГУМАНИТАРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, РЕКЛАМЫ И ПИАР-МАНИПУЛЯЦИЙ
Морозова А.Н. 495

МЕЖДУ СВОБОДОЙ ОТ И СВОБОДОЙ ДЛЯ
Протько М.А 498

ЧЕЛОВЕК В ФИЛОСОФИИ ЭКЗИСТЕНЦИАЛИЗМА: ПЕРЕЖИВАНИЯ И КРИЗИСЫ КАК ПУТЬ СТАНОВЛЕНИЯ ЛИЧНОСТИ
Хатеневич А.А. 500

ФИЛОСОВСКИЕ АСПЕКТЫ ДИСТАНЦИОННОГО ОБРАЗОВАНИЯ
Мосендз А.В. 501

ПРОБЛЕМА ЖИЗНИ И СМЕРТИ В КОНТЕКСТЕ МЕДИЦИНСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И БИОЭТИКИ
Будник В.С. 505

БУНТ ПРОТИВ ОДНОМЕРНОСТИ: ЧЕЛОВЕК В ЛОВУШКЕ МАССОВОЙ КУЛЬТУРЫ
Бурко Л.А. 512

ФИЛОСОФСКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ
Примакович Л.В. 514

ЭТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В МАРКЕТИНГЕ
Груша М.В., Дятел В.В. 518

ФИЛОСОФИЯ ЦИФРОВОЙ ЭПОХИ: ОНТОЛОГИЯ, ЭПИСТЕМОЛОГИЯ И ЭТИКА
Дудкина Е.А. 521

СОЦИАЛЬНЫЙ КАПИТАЛ: ОСНОВНЫЕ КОНЦЕПЦИИ, ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ И МЕТОДОЛОГИИ ИССЛЕДОВАНИЯ
Саблина А.И. *523*

ФИЛОСОФСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕОРИИ ПОКОЛЕНИЙ
Клименко И.В. *526*

ЧЕЛОВЕК В СИСТЕМЕ ВИРТУАЛЬНЫХ СОЦИАЛЬНЫХ КОММУНИКАЦИЙ. ЛИЧНОСТЬ И ОБЩЕСТВО
Кабак Н.О. *531*

ПРОБЛЕМА ЖИЗНИ И СМЕРТИ В ЭКЗИСТЕНЦИАЛЬНОМ ИЗМЕРЕНИИ
Ефремова А.Ю. *535*

ИБН СИНА И ЕВРОПЕЙСКОЕ ВОЗРОЖДЕНИЕ:МОСТ МЕЖДУ КЛАССИЧЕСКОЙ МЫСЛЬЮ И ПРОСВЕЩЕНИЕМ
Али Марван А.Ф.А. *537*

ПОНЯТИЕ РИСКА В ФИЛОСОФИИ ЭКЗИСТЕНЦИАЛИЗМА НА ПРИМЕРЕ ТВОРЧЕСТВА ГРУППЫ «THE HATTERS»
Сытая Д.Д., Синило Д.В. *539*

КОЭВОЛЮЦИЯ ЧЕЛОВЕКА И ТЕХНОЛОГИИ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ
Марковский И.М., Убоженко М.А. *542*

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ И УРОВНЯ ГАРМОНИИ ЛИЧНОСТИ
Бетеня К.С. *546*

РЕНЕ ДЕКАРТ КАК ФИЛОСОФ И МАТЕМАТИК
Бычек Е.Н. *548*

ПРЕДМЕТ И ЗНАЧЕНИЕ ДРУЖБЫ
Артюшкевич Г.Д., Бердова Э.А. *552*

СЧАСТЬЕ И МОРАЛЬ: МОЖНО ЛИ БЫТЬ СЧАСТЛИВЫМ, НАРУШАЯ ЭТИЧЕСКИЕ НОРМЫ?
Бидун Е.О., Гусева Н. Д. *555*

ПРАВОСЛАВНАЯ ПСИХОТЕРАПИЯ. СВЯТООТЕЧЕСКИЙ ВЗГЛЯД И СОВРЕМЕННАЯ ПРАКТИКА
Елопов Г.А. *557*

ФИЛОСОФСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА
Титов А.В. *561*

ЭКЗИСТЕНЦИАЛИЗМ САРТРА, ПОЧЕМУ ЧЕЛОВЕК ОБРЕЧЕН БЫТЬ СВОБОДНЫМ
Земляник Р.В. *563*

451° ПО ФАРЕНГЕЙТУ: БУДУЩЕЕ КНИГИ В ЦИФРОВУЮ ЭПОХУ
Арсенович П.А. *564*

ФИЛОСОФСКИЕ АСПЕКТЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ
Ивашевич Д.С., Перко А.О. *566*

ФИЛОСОФСКОЕ ОСМЫСЛЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ СМЕРТНОЙ КАЗНИ
Концевая В.Д., Толстенков И.А., Трубеко В.В. *568*

СЕКЦИЯ 7

«ЭЛЕКТРОННЫЕ ВЫЧЕСЛИТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА»

ПОДСИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ОТОПЛЕНИЕМ УМНОГО ДОМА
Колосков И.А. *573*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ КОЛЬЦЕВЫХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ
Трубач К.И., Романовский М.Д. *575*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЧИСЛА ПАРАМЕТРОВ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ НА ТОЧНОСТЬ РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ
Ермакович В.А. *577*

ЧАСЫ-МЕТЕОСТАНЦИЯ НА БАЗЕ АППАРАТНОЙ ПЛАТФОРМЫ ESP32-WROOM
Субботенко О.Р. *582*

РАЗРАБОТКА АППАРАТНОГО МОДУЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ФУНКЦИИ ARGMAX НА БАЗЕ FPGA
Субботенко О.Р. *584*

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЧЕТЫРЕХКОЛЕСНОЙ ПЛАТФОРМОЙ
Зубрицкая Е.И. *586*

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ТЕМПЕРАТУРЫ КОМПЛЕКТУЮЩИХ ПК
Степанчук Д.Е. *588*

АУДИОПЛЕЕР НА БАЗЕ АППАРАТНОЙ ПЛАТФОРМЫ ARDUINO
Ванькевич А.А., Рудницкий М.С., Богатырёв А.Д. *589*

КОНЦЕПЦИЯ УСТРОЙСТВА ДЛЯ АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО СПЕКТРА В УСЛОВИЯХ ПОРТОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ
Гурьев В.А *590*

ПРИМЕНЕНИЕ РЕКУРЕНТНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ С ДОЛГОЙ КРАТКОСРОЧНОЙ ПАМЯТЬЮ ДЛЯ ЗАДАЧИ РАСПОЗНАВАНИЯ ЭМОЦИЙ ПО РЕЧИ
Краснопрошин Д.В. *592*

ЧАСЫ С БУДИЛЬНИКОМ НА БАЗЕ АППАРАТНОЙ ПЛАТФОРМЫ ARDUINO
Лобацевич С.С., Протасевич А.В., Бельский К.Ю *596*

ЗАВИСИМОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВХОДНЫХ И ВЫХОДНЫХ ДАННЫХ В МНОГОУРОВНЕВЫХ ГЕНЕРАТИВНО-СОСТЯЗАТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ
Ковбаса Г.А. *598*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИБЛИОТЕКИ OPENSMILE ДЛЯ АНАЛИЗА ГОЛОСОВЫХ СИГНАЛОВ ПАЦИЕНТОВ С БАС
Михневич А.В. *602*

ТЕХНОЛОГИИ РАСПОЗНАНИЯ РЕЧИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВИДЕОДАННЫХ
Макар Д.А. *606*

МОДЕЛИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ОПЕРАТИВНЫХ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ
Деменковец Д.В., Петровская В.В. *608*

МЕТОД СКАНИРОВАНИЯ ПОТОКА ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ
Русакович Е.С., Деменковец Д.В......610

АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПАКТНОЙ И ЭФФЕКТИВНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОБУЧАЕМОГО ДВУМЕРНОГО РАЗДЕЛИМОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ
Кривальцевич Е.А.....615

НЕЙРОННАЯ СЕТЬ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ГОЛОСОВЫХ КОМАНД
Сакович В.А......621

КВАТЕРНИОННАЯ НЕЙРОННАЯ СЕТЬ НА БАЗЕ FPGA
Осипов А. С......625

СЕКЦИЯ 1
«ЭЛЕКТРОННЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ»

УДК 004.932.2

АЛГОРИТМЫ СЕГМЕНТАЦИИ ПРИ ОБРАБОТКЕ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ

Хатеневич А.А.[1], магистрант гр.455801

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники[1]
г. Минск, Республика Беларусь

Перцев Д.Ю. – канд. техн. наук, доцент

Аннотация. В статье рассмотрены основные алгоритмы сегментации изображений. Проведен анализ и сравнение этих алгоритмов, выбран алгоритм, подходящий для решения задачи сегментации спутниковых снимков.

Ключевые слова. сегментация, спутниковые снимки, метод водораздела, алгоритм сдвига среднего значения, метод разрастания областей.

Сегментация в контексте обработки изображений – это процесс разделения цифрового изображения на несколько сегментов, так называемых суперпикселей (множество пикселей). Целью ставится изменение изображения таким образом, чтобы упростить процесс анализа и сделать его более эффективным [1]. Также метод сегментации используется для выделения объектов, границ, линий, кривых на изображениях. Результатом является множество сегментов, которые вместе покрывают все изображение, или множество контуров, выделенных из изображения. Отличительным свойством сегмента является схожесть пикселей по одной или нескольким специфическим характеристикам (цвет, яркость, текстура). Соседние множества пикселей, в свою очередь, имеют значительные отличия по этим характеристикам.

Для осуществления процесса сегментации изображений разработан ряд универсальных алгоритмов и методов. Из-за того, что универсального решения задачи сегментации изображений не существует, при работе в определенной предметной области необходимо проведение анализа существующих методов и понимание специфики данных этой области, на основе чего производится разработка решения поставленной задачи.

Целью данной статьи является анализ существующих методов в контексте решения задачи сегментации спутниковых изображений, проведение сравнительных тестов на реальных данных и последующий выбор метода, подходящего для прикладного применения.

В качестве тестовых данных использовались реальные спутниковые снимки снятые на аппаратуру с разрешением 2 метра (1 пиксель отражает 2 метра земной поверхности). Исходное изображение выполнено в градациях серого, глубина цвета составляет 10 бит/пиксель, что позволяет получить более подробное изображение с точки зрения цветовых деталей.

Алгоритм сегментации по водоразделам (WaterShed). Данный метод основан на представлении изображения как некоторой топографической поверхности, где высоты относительно некоторого уровня представлены значениями яркости пикселей. Такой подход позволяет поделить изображение на «вершины» и «равнины». Равнинами называются области изображения, где отсутствуют перепады яркости пикселей. Вершины же появляются в местах перепада интенсивности, то есть абсолютное значение градиента яркости минимально [2]. После этого определяются координаты глобального минимума яркости на изображении и начинается постепенное «заполнение водой», что подразумевает поочередное добавление слоев пикселей к сегментам. В местах соприкосновения данных сегментов (вершинах) происходит построение перегородок, которые называются водоразделами и препятствуют объединению отдельных участков в единый сегмент.

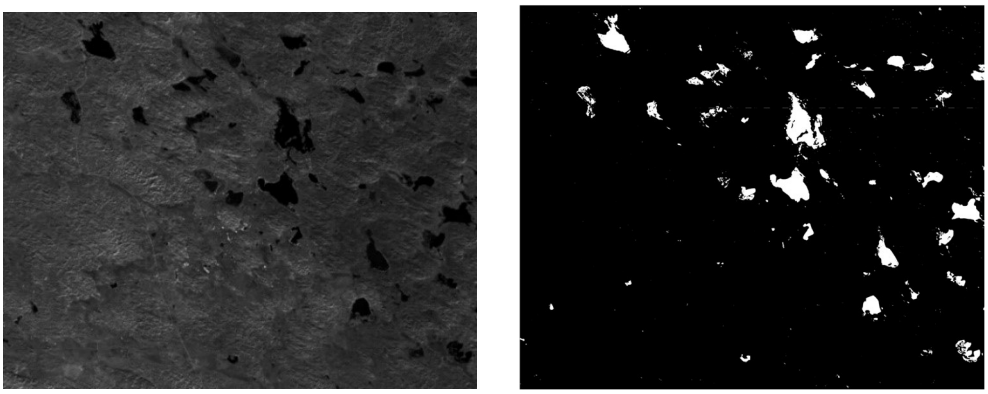
Вышеописанный алгоритм является базовым описанием метода водоразделов, который корректно работает лишь при наличии небольшого количества локальных минимумов на изображении, что подразумевает отсутствие мелких деталей. Большое количество деталей приводит к избыточному разбиению на сегменты в тех местах, где результат обработки должен выглядеть как единый сегмент. Для решения данной проблемы существуют следующие способы:

1. Применение последовательных шагов эрозии и дилатации перед началом работы алгоритма, с целью избавления от мелких деталей.

2. Применение так называемого маркерного водораздела.

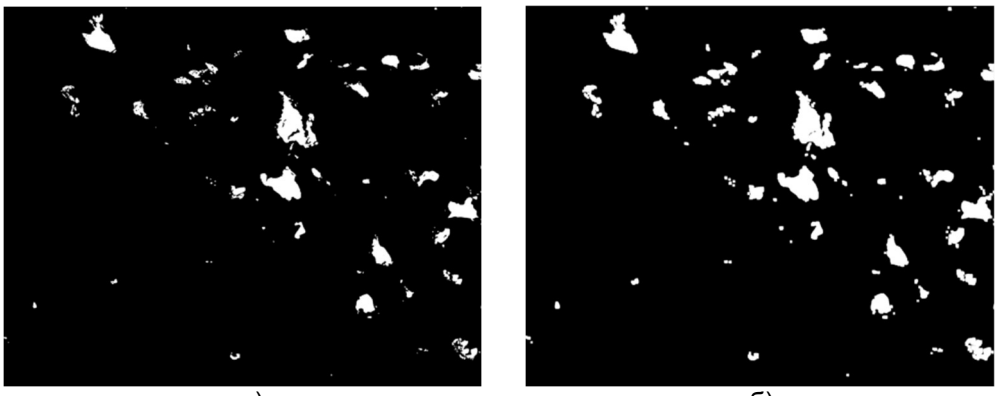
Маркерный водораздел подразумевает заблаговременное нанесение маркеров на изображение. Наносимые метки имеют значения яркости равные глобальному значению минимума, что приводит к тому, что делиться на сегменты будут только области, имеющие маркера, а прочие участки будут объединены. С целью проведения экспериментов метод водоразделов был применен к изображению, которое перед этим прошло этапы эрозии и дилатации, что позволило убрать шумы и избавиться от мелких деталей, и дополнительно были нанесены маркеры на изображение, что помогло достичь

удовлетворительного результата. На рисунке 1 приведены исходные тестовые данные и их представление в бинарном виде, которое было получено путем установки некоторого порога яркости (в примере порог яркости составил 10) и последующего присваивания каждому пикселю либо значения 0 (черный) при превышении порогового значения, либо значения 255 (белый) при меньшем значении. На рисунке 2 представлены промежуточные шаги алгоритма: этап эрозии и этап дилатации. Применение данных методов позволило убрать с изображения шумы и мелкие детали, которыми в контексте поставленной задачи можно пренебречь. Полученные маркеры изображения и результат работы метода водоразделов изображены на рисунке 3. При тестировании метод применялся для решения задачи поиска водных массивов на поверхности Земли.



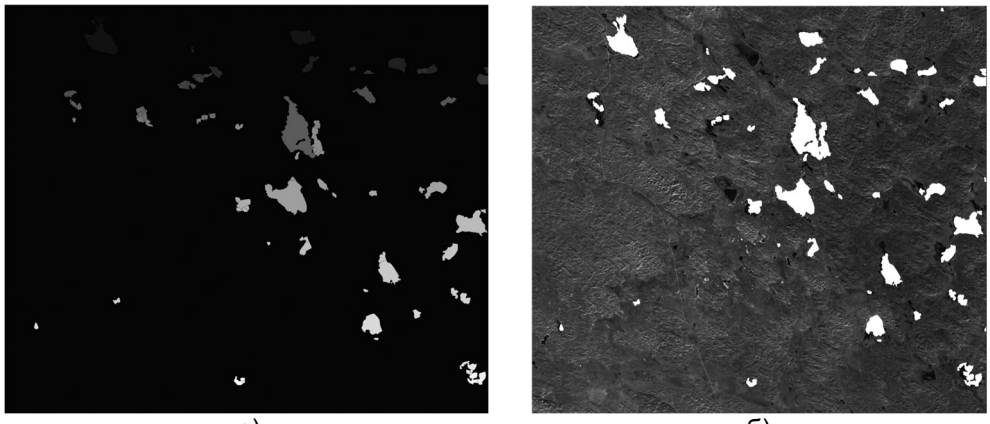
а) б)

Рисунок 1 – Исходные данные метода водоразделов: а – данные в градациях серого; б – данные в бинарном виде



а) б)

Рисунок 2 – Результат применения эрозии и дилатации к входным данным: а – данные после эрозии; б – данные после дилатации



а) б)

Рисунок 3 – Маркеры сегментов и результат работы алгоритма водоразделов: а – маркеры сегментов; б – результат работы алгоритма

Алгоритм сдвига среднего значения (MeanShift). MeanShift – это техника анализа пространства признаков для определения местоположения максимума плотности вероятности, иначе именуемый алгоритмом поиска моды. Данный метод основан на группировке объектов со схожими признаками. Пиксели, имеющие близкие значения своих характеристик объединяются в один сегмент, что позволяет получить на выходе изображение с однородными областями. Например, если в качестве координат в пространстве признаков взять координаты пикселя (x, y) и компоненты RGB пикселя, то изобразив пиксели в пространстве признаков, можно заметить сгущения в определенных местах, которые и являются сегментами изображения (см. рисунок 4).

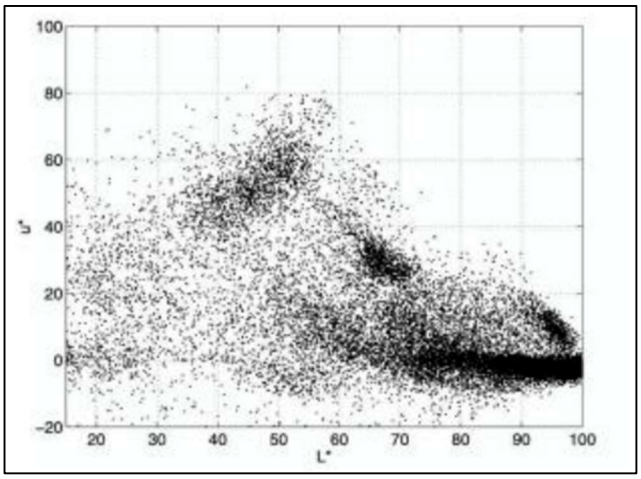
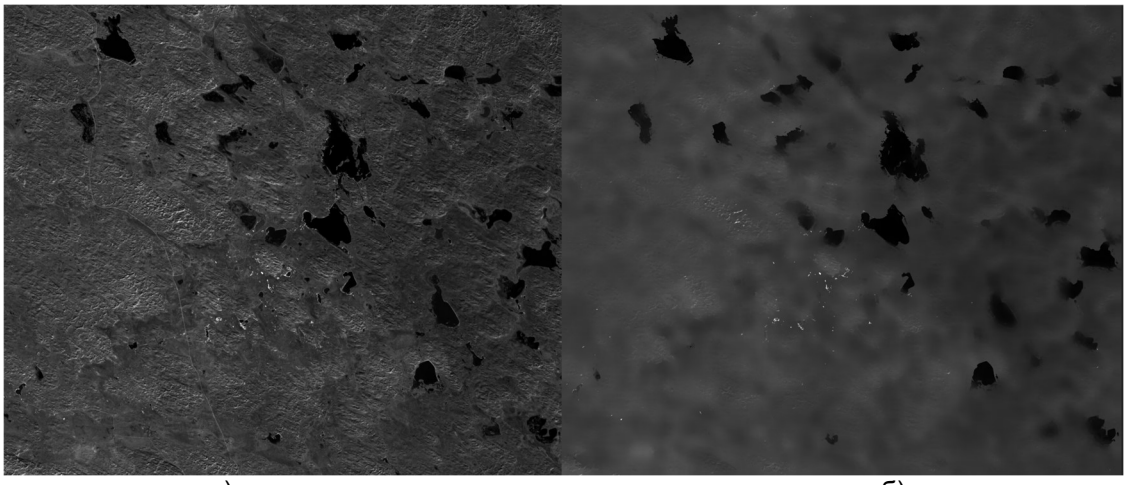


Рисунок 4 – Сгущения пикселей в пространстве признаков

Для упрощения описания сгущения точек была введена функция плотности f(x), где x – это вектор признаков пикселей. Максимумы функции f(x) расположены в точках сгущения пикселей изображения в пространстве признаков. Пиксели, которые принадлежат одному локальному максимуму, объединяются в один сегмент. В итоге, для нахождения центра сгущения отдельной точки, надо двигаться по градиенту функции f(x) для нахождения ближайшего локального максимума.

Дополнительно при работе с данным алгоритмом необходимо выбрать вектор признаков под конкретную задачу. Если в качестве признаков выбираются координаты пикселей и интенсивность цвета, то в один сегмент будут объединяться пиксели с близким цветом и расположением. Соответственно, при выборе другого вектора признаков, деление на сегменты на идентичном изображении изменится.

Недостатком этого способа сегментации является то, что алгоритм не справится с задачей при попытке объединения в один сегмент нескольких областей, которые имеют сильное различие по характеристикам из пространства признаков. Преимущество MeanShift заключается в том, что он хорошо справляется с выделением однородного по цвету объекта на пестром фоне. Результат работы метода представлен на рисунке 5.



а) б)

Рисунок 5 – Результат работы метода сдвига среднего значения: а – исходные тестовые данные; б – результат работы метода MeanShift

Метод разрастания областей или метод «наводнения» (FloodFill). Данный метод используется для выделения однородных по цвету областей. Для выполнения этого алгоритма выбирается начальный пиксель и задается интервал изменения цвета соседних пикселей относительно исходного. Процесс объединяет пиксели в один сегмент путем заливки их одним цветом при условии их попадания в заданный диапазон. В результате работы получается сегмент, залитый определенным цветом. Данный алгоритм полезен для заливки областей со слабым перепадом цвета и однородным фоном. Одним из способов применения метода FloodFill является выявление повреждений на краях объекта. К примеру, если, заливая однородные области определенным цветом, алгоритм заполняет соседние регионы, то это указывает на то, что целостность границы между двумя областями нарушена.

При решении задач в контексте обработки спутниковых снимков данный алгоритм может быть полезен, например, при определении границ озер и поиске точек контакта нескольких водоемов на карте, так как при наличии пересечений, они будут окрашиваться в один цвет. Для корректной работы FloodFill требуется передача координат пикселей, расположенных в сегментах, границы которых необходимо найти (см. рисунок 6). По этой причине для тестирования данного алгоритма в качестве входных данных были переданы координаты точек лишь некоторых областей.

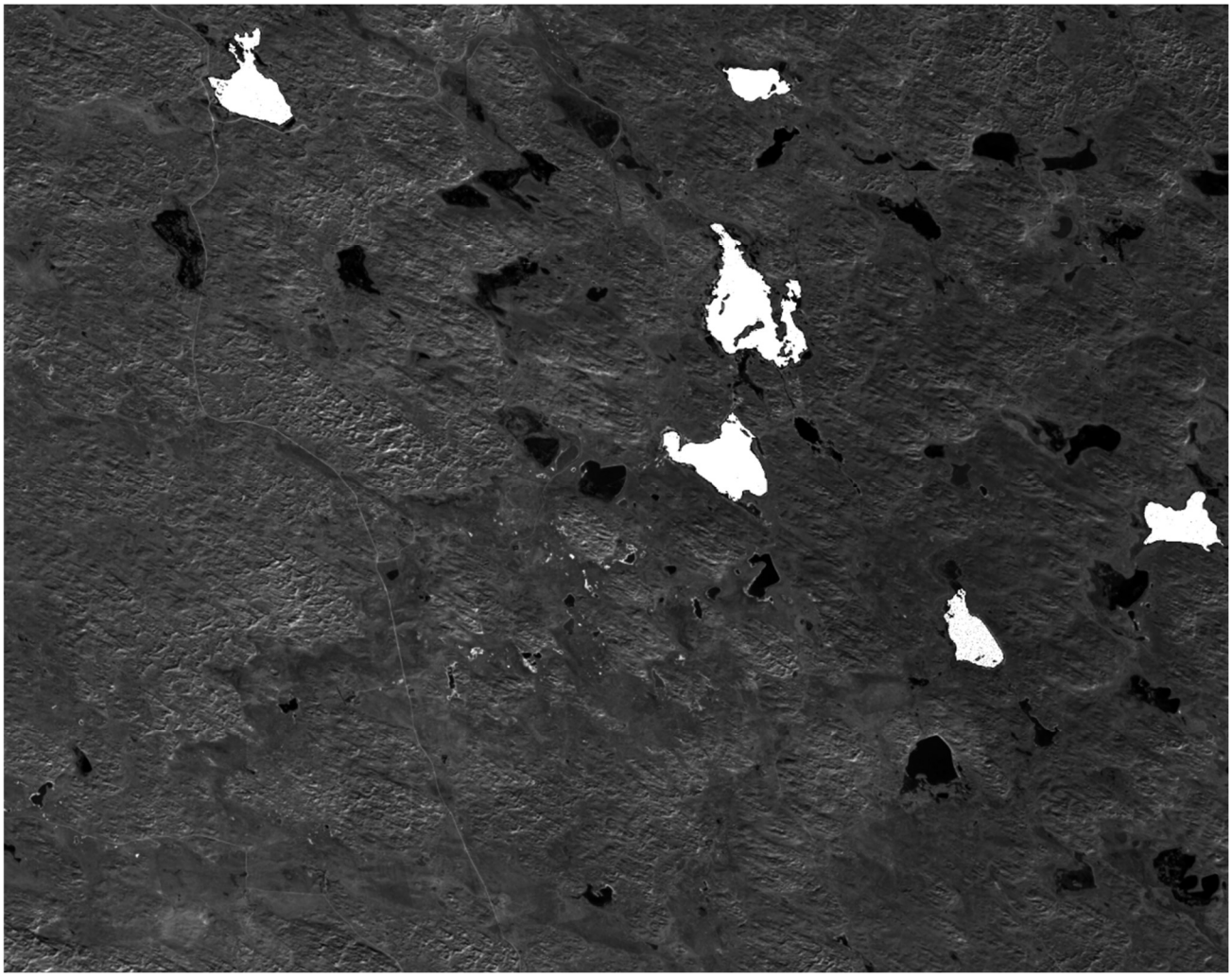


Рисунок 6 – Результаты работы FloodFill

Сравнительный анализ результатов работы методов. Метод разрастания областей удовлетворительным образом решает свою задачу по поиску границ водоемов. Алгоритм относительно точно выделяет мелкие детали по типу участков суши, расположенных посреди выделяемых сегментов. При оценке результатов работы можно заметить некоторое количество шума на выделенных кластерах в виде неокрашенных пикселей посреди кластера. Данные шумы убираются путем небольшой корректировки начальных параметров алгоритма. Главным недостатком этого метода является необходимость реализации поиска координат пикселей, которые будут располагаться на необходимых кластерах. Решением является либо вмешательство человека как посредника между

процессами сбора данных и их обработки, либо внедрение дополнительного алгоритма сегментации, который будет осуществлять выделение необходимых сегментов.

Алгоритмы водораздела и среднего сдвига имеют схожий результат при сегментации с общими слабыми местами: оба метода склонны к пренебрежению мелкими сегментами, что приводит к их последующей потере на итоговых результатах. При работе с обоими алгоритмами необходима качественная дополнительная предобработка, если техническими требованиями определена высокая детализация результатов сегментации.

Метод водоразделов при определенных условиях может создавать избыточную сегментацию: места, которые должны считаться одним кластером, делятся на множество мелких, что малозаметно на итоговых результатах из-за плотности расположения этих «субкластеров». Этот недостаток можно обнаружить при рассмотрении рисунка с маркерами.

Метод среднего сдвига имеет достаточно приемлемые результаты. Недостатком этого метода является так называемое «смазывание» сегментов. Это происходит в местах, где градиент функции яркости пикселей недостаточно большой из-за чего водоем может начать сливаться в один сегмент с прилегающей областью суши, схожей по цветовой характеристике. Данная проблема решается понижением допустимого разброса яркости цвета при сегментации, но в дальнейшем это также может спровоцировать появление лишних шумов в нужных сегментах, что потребует дополнительной обработки.

Заключение. Таким образом решение о применении каждого алгоритма необходимо принимать на основе специфики задачи и условий получения каждого изображения. Космическая съемка – это процесс с большим количеством нестабильных условий, под которые постоянно необходимо подстраиваться и минимизировать их последствия. Поэтому оптимальным выбором при решении задач по сегментации снимков является комбинирование всех алгоритмов для осуществления каждым из них этапов сегментации, в которых они справляются лучше всего.

Список использованных источников:

1. What is image segmentation [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: https://www.ibm.com/think/topics/image-segmentation – Дата доступа: 07.04.2025.

2. Watershed Algorithm and its Application For Image Segmentation [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: https://www.aegissofttech.com/articles/watershed-algorithm-and-limitations.html – Дата доступа: 06.04.2025.

UDC 004.932.2

SEGMENTATION ALGORITHMS IN SATELLITE IMAGE PROCESSING

Khatsianevich A.A.[1]

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics[1]*, Minsk, Republic of Belarus*

Pertsau D.Y. – PhD in Technical Sciences

Annotation. The article discusses the main algorithms for image segmentation. An analysis and comparison of these algorithms is presented, and an algorithm suitable for solving the problem of segmentation of satellite images is selected.

Keywords. segmentation, satellite image, watershed algorithm, meanshift algorithm, floodfill algorithm.

УДК 004.032.26, 004.932.4

АНИМАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Климович А.Н., студент гр.150501

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники[1]
г. Минск, Республика Беларусь

Куприянова Д.В. – магистр техн. наук

Аннотация. Проанализированы современные методы анимации изображений на основе нейронных сетей. В качестве основной архитектуры выбрана First Order Motion Model (FOMM). Выполнен обзор и сравнительный анализ других методов, таких как X2Face и Monkey-Net. Проведена оптимизация FOMM для работы в реальном времени. Выполнено тестирование модели и собраны метрики ее работы.

Ключевые слова. Генеративно-состязательная сеть, анимация изображений, First Order Motion Model, перенос движений, генерация видео, X2Face, Monkey-Net, ключевые точки, обработка изображений, сравнение методов анимации.

Введение. Современные цифровые технологии оказывают заметное влияние на визуальный контент, трансформируя его в различных прикладных сферах – от кинематографа и видеоигр до AR/VR-приложений и социальных медиа. Одной из основных задач в этой области является реалистичная анимация статичных изображений, позволяющая «оживлять» портреты, создавать цифровые аватары или автоматизировать производство мультимедийного контента. Традиционные методы, основанные на ручной анимации или алгоритмах морфинга, требуют значительных временных затрат и не обеспечивают естественности движений. Также для данного подхода требуются дополнительные сведения об объекте анимации, например, его 3D-модель, необходимая для более корректной генерации движения, что стимулирует развитие нейросетевых методов, способных обходиться без явного 3D-представления.

Прорыв в области анимации изображений связан с появлением глубокого обучения и соответствующих моделей. В результате обучения на множестве видеороликов, изображающих объекты одной категории (например, лица, человеческие тела), такие сети позволяют анимировать объекты, относящиеся к данной категории. Данная генеративная способность позволяет автоматически переносить мимику и движения с исходного видео на целевое изображение, сохраняя его детализацию и реалистичность. В отличие от классических методов, нейросетевые решения обладают следующими преимуществами:

– минимизируют необходимость ручного вмешательства;
– обеспечивают плавность анимации даже для сложных сцен;
– адаптируются к различным объектам (лица, тела, животные).

Целью данной работы является проведение сравнительного анализа современных методов анимации изображений на основе нейронных сетей, оценив их качество результатов на тестовых данных, а также выявить преимущества First Order Motion Model (FOMM) [1] в задачах сохранения деталей и естественности движений.

Обзор методов анимации изображений. Большинство последних решений рассматриваемой задачи основываются на глубоком обучении моделей, в основе которых лежат генеративно-состязательные нейросети (Generative Adversarial Network, GAN) и вариационные автоэнкодеры (Variational Autoencoder, VAE). Данные модели обычно используют предобученные модули для поиска ключевых точек объектов на изображении. Главная проблема такого подхода – данные модули способны распознавать только объекты, на которых они были обучены.

X2Face [2] – нейросеть с самообучением для создания дипфейков (deepfake), которую разработали исследователи из Оксфорда. Она использует лицо другого человека для управления позой и выражение целевого лица. Модель решает задачу переноса движений, разделяя ее на две подзадачи, реализуемые двумя подсетями. Встраиваемая сеть изучает фронтальное изображение лица, а управляющая наделяет это лицо позой и выражением человека, анимирующего изображение. Однако результирующее изображение нередко содержит визуальные артефакты – искажения формы лица, размытость или некорректную передачу мимики, что делает подмену заметной для наблюдателя.

MonkeyNet [3] – открытая нейросеть, разработанная итальянскими исследователями, которая состоит из следующих модулей:

– детектор, который обучается без учителя и извлекает ключевые точки объекта;
– сеть прогнозирования (Dense Motion) для создания тепловых карт и кодирования информации о движении;
– сеть передачи движения (Motion Transfer Generator), которая синтезирует выходные кадры на основе тепловых карт движения и входного изображения.

MonkeyNet является первой моделью для анимации изображений неизвестных объектов. Она извлекает целевые ключевые точки на изображении с помощью самообучающегося детектора ключевых точек и генерирует плотную тепловую карту из разреженных ключевых точек. После этого синтезируется входной кадр, который использует тепловую карту движения и информацию о внешнем виде, извлеченную из входного изображения. Однако для MonkeyNet сложно моделировать преобразование внешнего вида объектов вблизи ключевых точек, что приводит к плохому качеству генерации, когда масштаб изменения объекта довольно велик.

Для поддержки более сложного движения предлагается применение FOMM, чтобы использовать неконтролируемые ключевые точки обучения и локальное аффинное преобразование для имитации сложного движения.

FOMM – это нейросетевая модель, предназначенная для анимации статичных изображений, которая основана на декомпозиции движения и представления. В отличие от методов, требующих парных данных (например, видео с одинаковым объектом в разных позах), FOMM работает в unsupervised-режиме, используя лишь исходное изображение и видео с референсными движениями.

Для обучения модели используется большая коллекция видеопоследовательностей, содержащих объекты одной и той же категории объектов. Модель реконструирует видео путем объединения одного кадра и изученного скрытого представления движения в видео. В процессе наблюдения пары кадров (исходного и движущегося), каждый из которых извлечен из одного и того же видео, модель учится кодировать движение в виде комбинации смещений ключевых точек, специфичных для движения, и локальных аффинных преобразований. Во время тестирования модель применяется к парам, состоящим из исходного изображения и каждого кадра движущегося видео, на основе чего выполняется анимация изображения исходного объекта.

Архитектура First Order Motion Model. Структура FOMM состоит из двух основных модулей: модуля оценки движения и модуля генерации изображения. Обзор и архитектура данного подхода представлены на рисунке 1 [1].

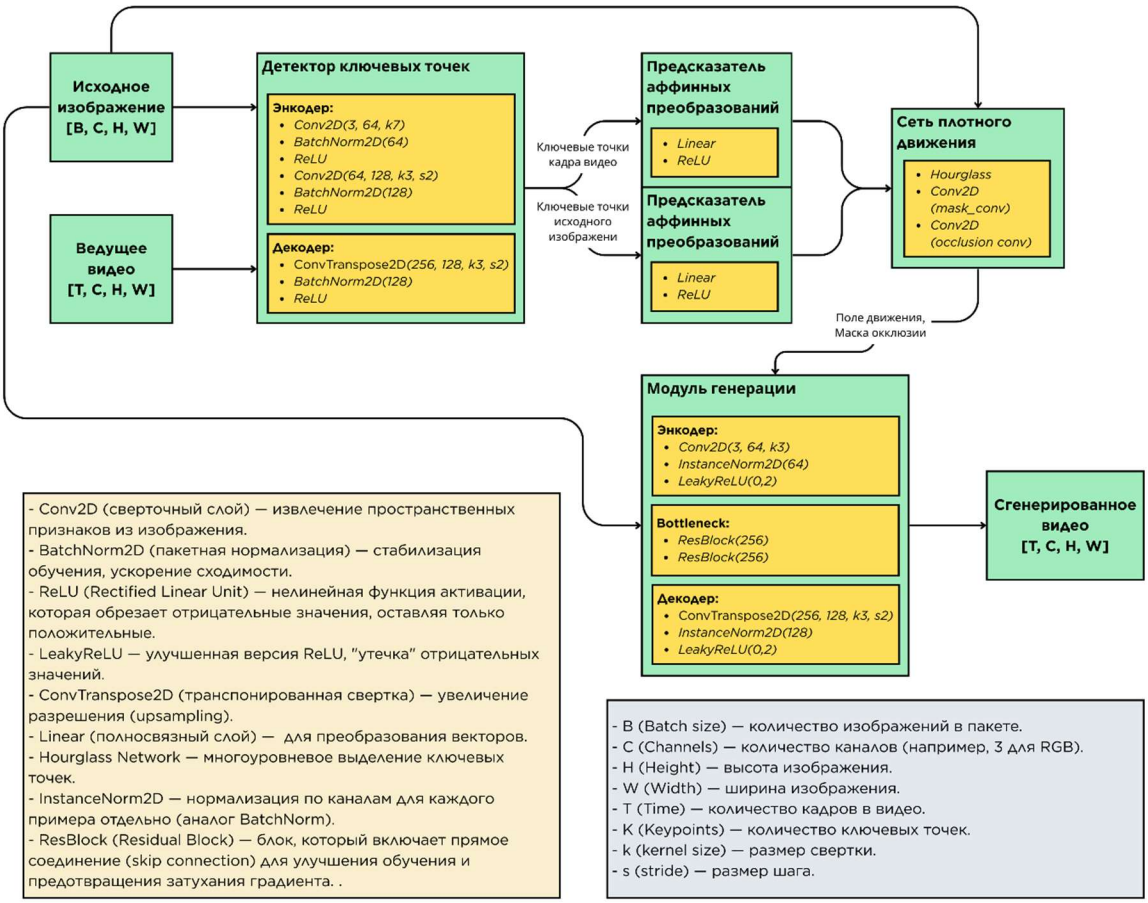


Рисунок 1 – Схема архитектуры First Order Motion Model

На первом этапе аппроксимируются оба преобразования из наборов разреженных траекторий, полученных с использованием ключевых точек, изученных самоконтролируемым способом. Моделируется движение в окрестности каждой ключевой точки с помощью локальных аффинных

преобразований. По сравнению с использованием только смещений ключевых точек, локальные аффинные преобразования позволяют моделировать большее семейство преобразований.

На втором этапе плотная сеть движения объединяет локальные аппроксимации для получения результирующего плотного поля движения. В дополнение к этому сеть выводит маску окклюзии, которая указывает, какие части ведущего изображения могут быть реконструированы путем деформации исходного изображения, а какие части должны быть закрашены (выведены из контекста). Наконец, модуль генерации визуализирует изображение исходного объекта, движущегося так, как показано в видео для анимации. Здесь используется сеть генератора, которая деформирует исходное изображение в соответствии с плотным движением и восстанавливает те области, которые были скрыты или отсутствовали на исходном изображении, например, из-за поворота головы или частичной окклюзии.

Описание набора данных. Модель обучалась и тестировалась на наборе данных VoxCeleb [4]. VoxCeleb – набор данных, который представляет собой видеопоследовательности с лицами людей, извлеченных из 22496 видео YouTube.

Для предварительной обработки в первом кадре извлекается начальная ограничивающая рамка вокруг лица человека. Затем эта рамка отслеживается, пока лицо не окажется слишком далеко от исходного положения. Далее видеокадры обрезаются, используя наименьшее кадрирование, содержащее все ограничивающие рамки. Процесс повторяется до конца последовательности. Последовательности, которые имеют разрешение ниже 256 × 256, отфильтровываются, а разрешение оставшихся видео уменьшается до 256 × 256 с сохранением соотношения сторон.

В итоге было получено 12331 обучающее видео и 444 тестовых видео, длина которых варьируется от 64 до 1024 кадров.

Результаты работы. Для оценки реконструкции видео выбраны следующие метрики из Monkey-Net:

1. L1 – сообщается среднее расстояние L1 между сгенерированным и реальным видео.
2. AKD (Average Keypoint Distance) – среднее расстояние до ключевых точек. Ключевые точки вычисляются независимо для каждого кадра. AKD получается путем вычисления среднего расстояния между обнаруженными ключевыми точками реального видео и сгенерированного видео.
3. AED (Average Euclidean Distance) – среднее евклидово расстояние между истинным и сгенерированным представлением кадра. Используется встраивание признаков, аналогичное в Monkey-Net.

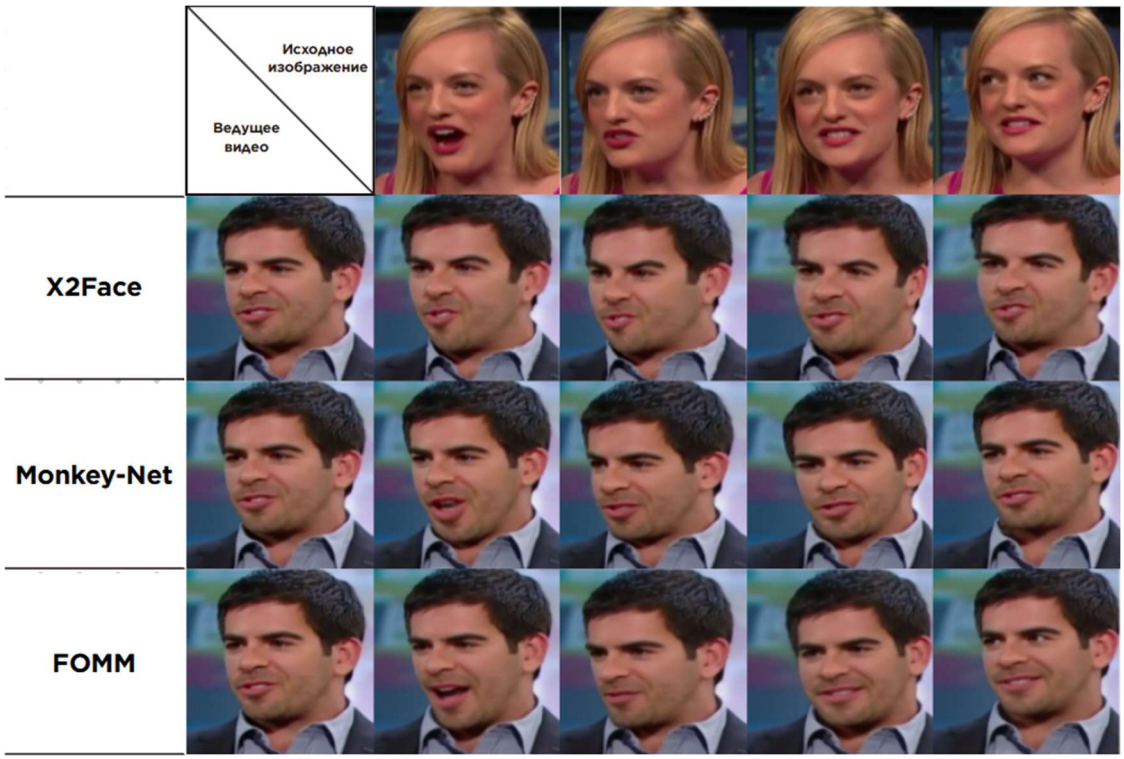


Рисунок 2 – Примеры анимации изображений на основе X2Face, Monkey-Net и FOMM

На рисунке 2 представлено несколько примеров результатов генерации анимации изображений для визуального сравнения. Визуальное сравнение демонстрирует высокую степень соответствия мимики и позы между оригинальными и синтезированными кадрами, особенно в случае сложных

движений лица и головы. В отличие от более ранних моделей, таких как X2Face и Monkey-Net, FOMM обеспечивает более стабильную и детализированную передачу движений.

В таблице 1 приведены метрики сравнения алгоритмов анимации изображений.

Таблица 1 – Метрики сравнения алгоритмов анимации изображений

Набор данных	Метрика	X2Face	Monkey-Net	FOMM
VoxCeleb	L1	0,078	0,049	0,043
	AKD	7,687	1,878	1,294
	AED	0,405	0,199	0,140

L1 измеряется в диапазоне от 0 до 1, где 0 – идеальное совпадение по пикселям. Значение 0,043 у модели FOMM означает, что среднее отклонение интенсивности каждого пикселя между сгенерированным и реальным изображением составляет всего 4,3% от возможного максимума, что говорит о высокой точности генерации.

Значения AKD выражаются в пикселях. У FOMM значение равно 1,294 пикселя, то есть в среднем ключевые точки сдвинуты на 1,3 пикселя. X2Face имеет ошибку в 7,7 пикселя – это уже значительное смещение, заметное невооруженным глазом.

AED – мера, показывающая семантическую схожесть изображений. Чем меньше ее значение, тем более «узнаваемым» и реалистичным является результат. У FOMM получено значение 0,140, что означает высокую близость к реальному изображению в пространстве признаков. Для сравнения, значение у X2Face почти в 3 раза хуже.

Численные значения метрик ясно показывают, что модель FOMM превосходит другие подходы по всем показателям. Это делает ее предпочтительным выбором для решения задач анимации изображений на основе одного кадра.

Заключение. Методы анимации изображений, основанные на нейронных сетях, представляют собой мощный инструмент для создания высококачественных анимаций. Особенно это касается применения предварительно обученных моделей, зависящих от большого объема размеченных данных.

В то же время исследования в области неконтролируемой анимации изображений без использования маркированных данных достигли значительного прогресса. Хотя архитектура First Order Motion Model демонстрирует превосходные результаты, подобные методы все еще имеют свои ограничения. Существует неточность прогнозирования оптического потока, что приводит к некачественным сгенерированным кадрам. Кроме того, существующие алгоритмы могут неправильно определять ключевые точки, располагая их на фоне вместо движущихся объектов. Это приводит к тому, что деформация смещения между ключевыми точками не всегда правильно описывает движения жестких объектов, вызывая такие эффекты, как ложные тени.

Для дальнейшего совершенствования технологий анимации требуется повышение точности прогнозирования и минимизация искажений в сгенерированных кадрах. Необходимо проведение оптимизации архитектуры и алгоритмов, внедрение новых подходов к обучению. Это позволит преодолеть существующие ограничения и повысить доступность и эффективность анимации изображений в прикладных задачах.

Особое внимание следует уделить учету межкадровой корреляции. Для решения данной задачи требуется использовать такие нейронные сети, как LSTM (Long Short-Term Memory), способные сохранять результаты генерации предыдущих кадров и использовать их при формировании текущего. Учитывание временной взаимосвязи между кадрами способствует повышению согласованности и качества реконструкции.

Кроме того, необходимо задействовать несколько исходных изображений, полученных с разных ракурсов, и реализовать автоматическую настройку степени их вклада в итоговую генерацию посредством нейронных сетей. Такой подход обеспечит более точную и реалистичную генерацию анимации.

Список использованных источников:

1. First Order Motion Model for Image Animation [Электронный ресурс] – Электронные данные. – Режим доступа: https://papers.nips.cc/paper_files/paper/2019/file/31c0b36aef265d9221af80872ceb62f9-Paper.pdf – Дата доступа: 20.03.2025

2. X2Face: A network for controlling face generation using images, audio, and pose codes [Электронный ресурс] – Электронные данные. – Режим доступа: https://arxiv.org/pdf/1807.10550 – Дата доступа: 22.03.2025

3. Animating Arbitrary Objects via Deep Motion Transfer [Электронный ресурс] – Электронные данные. – Режим доступа: https://arxiv.org/pdf/1812.08861 – Дата доступа: 24.03.2025

4. VoxCeleb [Электронный ресурс] – Электронные данные. – Режим доступа: https://www.robots.ox.ac.uk/~vgg/data/voxceleb/– Дата доступа: 30.03.2025

UDC 004.032.26, 004.932.4

IMAGE ANIMATION BASED ON NEURAL NETWORKS

Klimovich A.N.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Kupryianava D.V. – Master of Technical Sciences

Annotation. Modern neural network-based image animation methods have been analyzed. The First Order Motion Model (FOMM) was selected as the primary architecture. A review and comparative analysis of other approaches, such as X2Face and Monkey-Net, were conducted. FOMM was optimized for real-time performance. The model was tested, and performance metrics were collected.

Keywords: Generative Adversarial Network, Image Animation, First Order Motion Model, Motion Transfer, Video Generation, X2Face, Monkey-Net, Keypoints, Image Processing, Comparison of Animation Methods.

УДК 004.932.2

ДЭТЭКЦЫІ І КЛАСІФІКАЦЫІ ЖЭСТАЎ РУК НА RASPBERRY PI ZERO 2W

Бекетаў Я.Д., студэнт гр.150504

Беларускі дзяржаўны універсітэт інфарматыкі і радыёэлектронікі
г. Мінск, Рэспубліка Беларусь

Перцаў Д.Ю. – канд. тэхн. навук, дацэнт

Анатацыя. У дадзенай працы разглядаецца мадэль дэтэкцыі і класіфікацыі жэстаў рук на аднаплатным камп'ютары Raspberry Pi Zero 2W.

Ключавыя словы. Дэтэкцыя, класіфікацыя, CNN, BlazeFace, Raspberry Pi Zero 2W, навучанне, тэсціраванне.

Уводзіны. Жэсты з'яўляюцца натуральным спосабам камунікацыі і паддаюцца аналізу машынай. Дадзеным аналізам могуць займацца як масіўныя сістэмы і комплексы апрацоўкі, так і мабільныя прыстасаванні: тэлефоны, аднаплатныя камп'ютары. Аднаплатныя камп'ютары, такія як Raspberry Pi Zero 2w, пастаўляюць даступныя і кампактныя рашэнні для рэалізацыі тэхналогій звязаных з дэтэкцыяй і класіфікацыяй жэстаў рук. Нягледзячы на папулярнасць, гатовыя рашэнні па такіх тэхналогіях для Raspberry Pi Zero 2w прадстаўлены абмежавана. Адным з рашэнняў з'яўляецца фрэймворк MediaPipe [1]. У рамках дадзенай тэмы праводзіўся агляд і аналіз гэтага фрэймворка [2]. Улічваючы абмежаванасць работы MediaPipe на маламагутных прыстасаваннях, ёсць неабходнасць распрацаваць іншае рашэнне і арганізаваць яго перанос на Raspberry Pi Zero 2w.

Агляд мадэляў. Патрабаванні да выбіраемай мадэлі фармулююцца такім чынам: хуткасць, лёгкасць, інтэрпрэтуемасць на Raspberry Pi Zero 2w, дастатковая дакладнасць у распазнанні жэстаў рук. Па патрабаванні падыходзяць мадэлі віда CNN (Convolutional Neural Network): YOLO (You Only Look Once) [3] і прадстаўнікі SSD (Single-Shot Multi-box Detector) [4].

SSD з'яўляецца больш зручнай асновай для асабістай мадэлі дэтэкцыі жэстаў рук з-за таго, што моцна не саступае мадэлі YOLO у хуткасці і праяўляе лепшую працаздольнасць пры маленькіх аб'ектах (у дадзеным выпадку рукі). Таксама плюсам з'яўляецца шырокія магчымасці ў мадыфікацыі дадзенай мадэлі.

Прадстаўнікі мадэлі SSD. Нягледзячы на складанасці з устаноўкай і выкарыстоўваннем MediaPipe, вядома, што для дадзенага фрэймворка існуюць асобныя мадэлі дэтэкцыі, каторыя з'яўляюцца прадстаўнікамі SSD: BlazePalm [5] і BlazeFace [6]. Першая мадэль, выкарыстоўваецца MediaPipe для рашэнняў HandGesture Recognition і Hand Tracking, а мадэль BlazeFace – для MediaPipe Face Detector.

BlazeFace выкарыстоўваецца для хуткага і дакладнага распазнавання твараў у рэальным часе, што робіць яе зручнай для мабільных і убудаваных сістэм. BlazeFace выкарыстоўвае легкаважную архітэктуру, што забяспечвае высокую хуткасць апрацоўкі і нізкае спажыванне рэсурсаў. На выхадзе мадэлі атрымліваецца: каардынаты абмежавальнай рамкі, клас аб'екта, упэўненасць.

BlazePalm выкарыстоўваецца для распазнання жэсткаў рук. BlazePalm з'яўляецца больш складанай мадэллю, але паўтарае архітэктурныя ідэі BlazeFace. Хуткасць апрацоўкі ніжэй, а рэсурсы выкарыстоўваюцца больш. На выхадзе мадэлі: каардынаты арентыраў рукі, клас жэста рукі і ўпэўненасць распазнання.

Якасць у дэтэкцыя BlazeFace горш для складаных аб'ектаў, але хуткасць дадзенай мадэлі павялічваецца ў некалькі разоў для машын з CPU. Таму дадзеная мадэль лягла ў аснову распрацаванай для Raspberry Pi Zero 2w асабістай мадэлі.

Асабістая мадэль. Для асабістай мадэлі выкарыстоўваюцца канцепцыі і падыходы архітэктуры BlazeFace. Як і ў BlazeFace, у асабістай мадэлі існуе слой BlazeBlock, каторы з'яўляецца спалучэннем слаёў depthwise convolution і pointwise convolution. У сваю чаргу слой doube BlazeBlock у архітэктуру асабістай мадэлі не ўвайшоў. Мадэль разбіта на два бэкбоны. У табліцы 1 і 2 прыведзена архітэктура першага і другога бэкбона адпаведна. Адносна BlazeFace асабістая мадэль выкарыстоўвае меншую колькасць параметраў за кошт таго, што ў яе архітэктуру не ўваходзіць слой double BlazeBlock. Заключным слоем мадэлі з'яўляецца здабывальнік асаблівасцяў (feature extractor). Выхады з бэкбонаў камбініруюцца такім чынам, што пры апрацоўцы фотаздымкаў са слаёў з выхадамі 16x16x88 і 8x8x96 фарміруюцца рэзультаты для класіфікатара і рэгрэсара. Значэнне "сырых" прадказанняў для класіфікатара і рэгрэсара не залежыць адзін ад аднаго, таму ў далейшым дазваляе пазбавіцца ад непатрэбнай апрацоўцы (напрыклад, калі няма неабходнасці падлічваць каардынаты абмежавальнай рамкі).

Табліца 1 – Архітэктура першага бэкбона

Слой	Памер увахода	Памер згортачнага ядра
Згортачны	128x128x3	5x5x3x24 (stride – 2)
BlazeBlock	62x62x24	3x3x24x1 1x1x24x24
BlazeBlock	62x62x24	3x3x24x1 1x1x24x28
BlazeBlock	62x62x28	3x3x24x1 (stride – 2) 1x1x24x32
BlazeBlock	31x31x32	3x3x24x1 1x1x24x36
BlazeBlock	31x31x36	3x3x24x1 1x1x24x42
BlazeBlock	31x31x42	3x3x24x1 (stride – 2) 1x1x24x48
BlazeBlock	16x16x48	3x3x24x1 1x1x24x56
BlazeBlock	16x16x56	3x3x24x1 1x1x24x64
BlazeBlock	16x16x64	3x3x24x1 1x1x24x72
BlazeBlock	16x16x72	3x3x24x1 1x1x24x80
BlazeBlock	16x16x80	3x3x24x1 1x1x24x88

Табліца 2 – Архітэктура другога бэкбона

Слой	Памер увахода	Памер згортачнага ядра
BlazeBlock	16x16x88	3x3x24x1 (stride – 2) 1x1x24x96
BlazeBlock	8x8x96	3x3x24x1 1x1x24x96
BlazeBlock	8x8x96	3x3x24x1 1x1x24x96
BlazeBlock	8x8x96	3x3x24x1 1x1x24x96
BlazeBlock	8x8x96	3x3x24x1 1x1x24x96

Выбар датасэта. У якасці датасэта выкарыстоўваецца HaGrid [7], а менавіта фотаздымкі для жэстаў “палец уверх” і “палец уніз”. Прыклады фотаздымкаў прыведзены на малюнку 1.



а) б)

Малюнак 1 – Прыклад фотаздымкаў для класаў: а) – “палец уверх”; б) – “палец уніз”

Суадносенне для набора “палец уверх”: трэніровачны набор – 4454 шт.; валідацыйны набор – 528 шт.; тэставы набор – 1025 шт. Суадносенне для набора “палец уніз”: трэніровачны набор – 4129 шт.; валідацыйны набор – 537 шт.; тэставы набор – 844 шт. Дадзены датасэт не дае вялікую разнастайнасць фотаздымкаў жэстаў, што ўплывае на якасці трэніроўкі мадэлі.

Тэсціраванне. У працэсе тэсціравання выкарыстоўваецца асобны праграмны модуль і тэставы набор дадзеных. Рэзультат дэтэкцыі мадэлі можна паглядзець на малюнку 2.

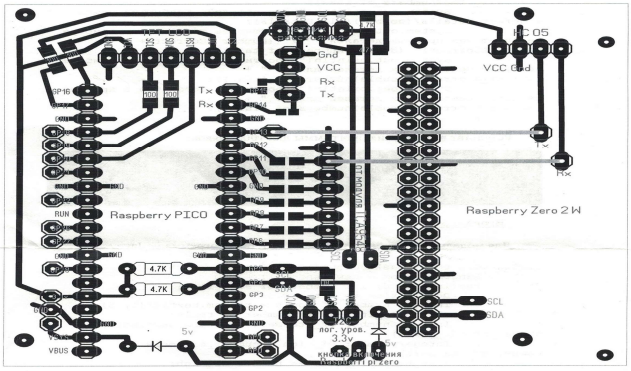


а) б)

Малюнак 2 – Прыклад дэтэкцыі для класаў: а) – “палец уверх”; б) – “палец уніз”

Можна заўважыць, што дакладнасць вызначэння рамкі не вельмі высокая. Гэта абумоўлена спрошчанай архітэктурай і адлегласцю, на якой знаходзіцца аб’ект дэтэкцыі ад камеры. Улічваючы тое, што першасным з’яўляецца вызначэнне самога класа жэста, для вызначэння тэставых метрык уплыў дакладнасць рамкі змяншаецца. Актуальнай метрыкай з’яўляецца дакладнасць (Accuracy). Рэзультат падліку: 85%.

Перанос. Аперацыйная сістэма, на каторую арганізоўваецца перанос: Bookworm 12 Lite 64-bit [8]. Неабходнае праграмнае забеспячэнне: python, pip, picamera2, tensorflow (tensorflow lite), Pillow, numpy, opencv. Для запуска мадэлі выкарыстоўваецца праграма з інтэрпрэтатарам tensorflow lite і патокавым чытаннем кадраў з дапамогай picamera2 з відэакамеры ўсталяванай на Raspberry Pi. Хуткасць апрацоўкі кадра мадэллю: 0.20 с. для дэтэкцыі і класіфікацыі, 0.004 с. толькі для класіфікацыі. Для дэманстрацыі рэзультатаў дэтэкцыі выкарыстоўваецца апаратная ўстаноўка: Raspberry Pi Zero 2W спалучанная з Raspberry Pi Pico і дыёдамі. Спалучэнне арганізоўваецца пасрэдна паслядоўнай асімітрычнай шыны I2C. На малюнку 3 прыведзена схема падключэння Raspberry Pi Zero 2W з Raspberry Pi Pico.



Малюнак 3 – Схема падключэння Raspberry Pi Zero 2W і Pico

Заключэнне. Па выніках распрацоўкі на грунце мадэлі BlazeFace была створана асабістая мадэль. Дадзеная мадэль была паспяхова перанесена на Raspberry Pi Zero 2w і паказала хуткасць (0.004 секунд), каторая адпавядае патрабаванням для працавання ў рэальным часе.

Спіс выкарыстаных крыніц:

1. MediaPipe [Электронны рэсурс]: https://developers.google.com/mediapipe. – Дата доступу: 09.04.2024.

2. Агляд гатовых праграмных рашэнняў па распазнаванню жэстаў рук. Mediapipe [Электронны рэсурс] - Рэжым доступу: https://libeldoc.bsuir.by/handle/123456789/56965. – Дата доступу: 17.03.2025.

3. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection [Электронны рэсурс] – University of Washington 9 мая 2016. – Рэжым доступу: https://arxiv.org/pdf/1506.02640. – Дата доступу: 21.02.2025.

4. SSD [Электронны рэсурс] – Рэжым доступу: https://arxiv.org/pdf/1512.02325. – Дата доступу: 21.02.2025.

5. Gesture recognition task guide [Электронны рэсурс]. – Рэжым доступу: https://ai.google.dev/edge/mediapipe/solutions/vision/gesture_recognizer. – Дата доступу: 21.02.2025

6. BlazeFace [Электронны рэсурс] – Рэжым доступу: https://arxiv.org/pdf/1907.05047. – Дата доступу: 21.02.2025.

7. HaGRID [Электронны рэсурс] – Рэжым доступу: https://github.com/hukenovs/hagrid. – Дата доступу: 18.03.2025

8. Operating system image. Raspberry Pi [Электроннв рэсурс] – Рэжым доступу: https://www.raspberrypi.com/software/operating-systems/#raspberry-pi-os-64-bit. – Дата доступу 09.04.2025

UDC 004.932.2

HAND GESTURE DETECTION AND CLASSIFICATION ON RASPBERRY PI ZERO 2W

Beketau Y. D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics[1], Minsk, Republic of Belarus

Pertsau D. Y. – PhD in Technical Science

Annotation. This paper discusses a hand gesture detection and classification model on a Raspberry Pi Zero 2w.

Keywords. Detection, classification, CNN, BlazeFace, Raspberry Pi Zero 2W, model training, model testing.

УДК 572.112

О ПЕРВЫХ АЛГОРИТМАХ СБОРКИ ГЕНОМА

Протько М.А.[1], магистрант гр.455801

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники[1]
г. Минск, Республика Беларусь

Борисенко О.Ф. – канд. физ.-мат. наук

Аннотация. В данной работе представлены краткие сведения, необходимые для изменений и оптимизаций существующих алгоритмов, используемых в сфере биоинформатики, а именно, сборке данных геномов на основе «коротких» ридов секвенирования Сэнгера.

Ключевые слова. Сборка генома, phiX174, shotgun sequencing, поиск регулярных выражений, jigsaw puzzle.

Данная статья является продолжением [1] и посвящена процессу сборки генома, поскольку, как показала практика [2], для построения желаемой модели для поиска болезней экспансии без применения данных алгоритмов не обойтись. Исходя из эвристического подхода, главенствующего в области (что является достаточно справедливым, учитывая огромное множество специализированных задач, с которыми призваны бороться данные инструменты биоинформатики), прежде чем использовать алгоритм/инструмент/идею, следует определить, где и как она применяется, и самое главное, к чему ее применение может привести.

Рассмотрение данных алгоритмов в подробностях имеет смысл, поскольку за их изначальной «очевидностью» подробное описания чего-то, что зовется de facto или алгоритмом state-of-the-art обнаружить достаточно проблематично. Потому, основная цель данной статьи – наиболее кратко и формально изложить данные алгоритмы, помня о том, что их полное описание (с учетом оптимизаций и эвристического подхода/допущений) необходимо объединять, отслеживая развитие по многочисленным источникам.

Начнем с самого первого базового алгоритма сборки, используемого при создании phix174. Самая первая полная версия генома данного бактериофага, несмотря на старания исследователей сразу содержала 33 ошибки, о которых было подробно описано в последующих работах, из чего вариант описанный в [3] отличается от того, что встречается в калибровке секвенаторов Illumina/Solexa [4]. Данные издержки стоит учитывать при рассмотрении алгоритма (а также то, что большая часть генома уже была собрана – исследователям необходимо было получить аналогичный результат, или же собрать прочие «малые» (до 80 bp) фрагменты).

Начальная программа (одна из первых программ сборки) [5] имела следующие возможности: хранение установленных последовательностей, отображение последовательностей, сравнения для гомологий в пределах или между последовательностями; поиск признаков, таких как определенные последовательности, повторяющиеся последовательности и петли для шпилек (hairpin loops). Последовательности для поиска могли включать остатки, указанные только как пурин или любое неизвестное основание, а также специфические нуклеотиды. Эти последовательности имели ограничение до 10 000 нуклеотидов, но фактический лимит по длине последовательности зависел от системных ресурсов компьютера. Время выполнения и количество выходных данных программы (являющихся основными ограничивающими факторами) могли быть скорректированы с помощью параметров, отвечающих за поиск гомологий. Ключевыми параметрами в данной программе являлись максимальная и минимальная дистанция гомологичного поиска, порог качества гомологии (минимальное количество совпадении, минимальная пропорция совпадения, максимальная и минимальная длина и т.д.)

Таким образом, из вышеописанных фактов о спецификации программы, которую использовал Сэнгер для полной сборки генома, наиболее вероятно являющуюся одной из вариаций SEQ, о чем можно только предполагать, потому как названия программы в статьях так и не приводится, но приводится название подпрограмм, что идут в комплекте. Можно предположить, что изначальное программное обеспечение не было специализировано под ДНК, но о разнице алгоритмических подходов к анализу намного большего массива данных (ДНК бактериофагов намного больше чем РНК простейших вирусов) можно только предполагать, поскольку статься [5] не описывает алгоритм, а представляет из себя инструкцию по использованию.

Каким же образом программа [5] определяла гомологию двух последовательностей, учитывая ограниченность ресурсов того времени? Для ответа на данный вопрос следует воспользоваться несколькими попытками, поскольку статья [5] упоминает [6]. Но [6] недалеко уходит от неё [5], являясь демонстрацией возможности программы, без упоминания алгоритма. Со второй попытки автору удалось выйти на упоминание статьи [7], которая позже (при анализе всех программ-сборщиков для

shotgun sequencing) упоминалась при разработке всех последующих программ (SEQ [8], MicroGenie [9], AssemblyLIGN [10], GeneWorks [11], AutoAssembler [12]). Сама статья [7] описывает подробно оптимизации, связанные с областью, но подробные описания самих алгоритмов, к счастью, формальные, описаны в [13].

Код реализации на PL/L, о котором идет речь в [7], нигде не был приведен из-за наличия корневого источника, описывающего изначальный алгоритм. Предполагалось, что изменения алгоритма, вносимые каждой новой программой будут достаточно подробны. Потому использование качественных прилагательных для описания случаев работы программ не являются корректными. Одним из примеров являются нынешние большие фрагменты (500-600 bp по технологии NanoPore), совсем не похожие на «большие» фрагменты 1970-х (до 80bp – сейчас это «короткие» риды Illumina/Solexa). Возникает закономерный вопрос, как вышло так, что первая сборка генома (PhiX175), которая будет положена в алгоритмы калибровки секвенаторов нынешнего времени, имеет такую обрывочную документацию? Одной из причин может быть то, что все исследователи знали друг друга лично, потому в официальной статье [14] (первое полное описание сборки бактериофага) приведены такие объяснения выбора заполнения пропуска как «personal communication» - со временем данное исследование подтвердили более точными методами.

Возвращаясь к одной из первых реализаций алгоритма сборки de novo [7] (то есть, без использования референсного генома – в то время его попросту не было), использовались стандартные алгоритмы сортировки, поиска и быстрой организации данных, которые, согласно [13], скорее всего будут являться: быстрой сортировкой (QuickSort, в параграфе 3.5), в качестве поиска, сравнивая с последующими реализациями, можно предположить об использовании бинарного поиска (поскольку учитывается ограниченный размер памяти и «дизайн для гибкости и простоты» [7], [13]), а в качестве организации данных, возможно, были использованы как деревья (и прочих графовых структурах), так и хэшмапы, так и обыкновенные сеты и кортежи (об их использовании можно предположить, ознакомившись с описанием параграфа 9 [13] о финитных автоматах (или о задаче поиска наибольшей подстроки). Самая первая реализация [7] использовала связный список и быстрый хэш для хранения подстрок (linked list и fast hashing [15])

Работа этого алгоритма заключается в следующем: на первом шаге (procedure) выбирается 10 нумерованных нуклеотидов (размер окна), далее рассчитывается процент каждого из четырех оснований (на данный момент этим занимается стороннее программное обеспечение на шаге до сборки, к примеру, FastQC), на третьем шаге рассчитывается частота встречи всевозможных 16 пар нуклеотидов, а также рассчитывается ожидаемый процент (на основании того, что комплиментарные основания пропорциональны друг другу) – на данном этапе процесс может завершиться при обнаружении аномалий (говорят о неточных данных). Четвертый шаг состоит из расчета всех 64 тринуклиотидов, как для всех рамок считывания в сумме, так и для одной (рамка считывания подробно описана в [4]). Стоит заметить, что программа [7] поддерживает запрет всех процедур на выбранную пару последовательности (что в современных программах сборки не встречается – количество последовательностей слишком велико, чтобы останавливаться и выделять конкретные области). Пятый шаг заключается в сравнивании: начало поиска происходит с фрагментов, имеющих «богатые регионы» – в них хотя бы 6 из 8 последовательных частей относятся либо к пуринам, либо к пиримидинам. Пересечение (overline) происходит с «богатыми» пуринами на «богатые» пиримидины (аналогично с GC/AT). После происходит переход к шестому шагу – пересечению по олигонуклеотидам (последовательностям нуклеотидов до 50 оснований). Для этого последовательность из n нуклеотидов выражается через n пересекающихся «слов», каждое из которых начинается с разного нуклеотида и продолжается до конца последовательности. Далее используется бинарная сортировка на ключах [13] для представления полученных слов в лексикографическом порядке. Цель данного шага является получение словаря с минимальными частями слов для отличия слов друг от друге (современные подходы используют схожую идею – создаются хэшмапы и словари на основании деревьев поиска с различным шагом между тринуклеотидов [1]) – данным минимумом представления строк являлась позиция начала последовательности и сам олигонуклеотид (так был представлен словарь поиска, олигонуклеотиды, скорее всего, не превышали размера 10 оснований [7]). Второй оптимизацией поиска по словарю является представление олигонуклеотидов в созданном словаре согласно частоте их встреч – таким образом можно обнаруживать гомологичные регионы (или же, повторы текста – полностью совпадающие олигонуклеотиды).

Стоит отметить, что частью реализации является поиск позиций с «неидеальным» совпадением. Данные позиции разделяют на две группы: диадные совпадения (dyad matches – совпадения комплиментарных оснований A-T, C-G) и почти гомологичные совпадения последовательностей с заданной строгостью (stringent conditions – в будущем данный термин не прижился). Изначальной идеей для так называемого порога совпадений, было предположение о том, что для нахождения совпадающих последовательностей необходимо, чтобы две последовательности начинались с двух совпадений, для последующей части последовательности выполнялись условия 1-4 (описаны ниже), и также, что после каждого несовпадения следует совпадение. Таким образом, получаем первое

упрощение работы программы (которое можно назвать эвристическим подходом), исходящее из определения гомологии [7].

Вышеописанный порог используется для того, чтобы определить достаточное качество поиска гомологии. Сам расчет производится исходя из следующих условий: если обе пары совпадают, алгоритм продолжает построение гомологии согласно следующему рекурсивному процессу. Предположим, что алгоритм нашел гомологию определенной длины. Затем совершается проверка (согласно [7] loop-out – это либо одно основание, либо пара, либо триада (тринуклеотид), один из которых становится искомой подстрокой в сравниваемой иной последовательности):

1. Следующая пара нуклеотидов совпадает.

2. Совершается "looping.out" 1, 2 или 3 нуклеотидов в первой последовательности, что состоит в том, что путем сравнения второй последовательности с нуклеотидами в первой последовательности могут состояться три совпадения (по одному, двум или трем нуклеотидам).

3. Путем совершения “looping.out” 1, 2 или 3 нуклеотидов во второй последовательности (аналогично 2).

4. Следующая пара нуклеотидов не совпадает, но 2 из последующих 3 пар совпадают.

Пока хотя бы одно из условий 1-4 совпадает, процесс поиска совпадений (пересечений) продолжается. На выходе из цикла первой части алгоритма получается строка, условие гомологичности которой затем проверяется согласно параметрам, описанным в предыдущем абзаце. Стоит отметить, что сами эти параметры определяются «на глаз» («In practice, the algorithm finds all substantial homologies found by eye» [7]), что не является достаточно весомым выводом. Но данная оптимизация все-таки была допущена, поскольку с ее помощью возможно было избежать «длинных бессмысленных гомологий» (“long meaningless homologies” – увы, примера «бессмысленной» гомологии в статье [7] не приводится). Еще одним порогом-параметром является соотношение правильных совпадений (которые прошли все вышеописанные проверки) с длиной потенциального гомологичного региона. Можно настроить дистанцию между двумя гомологичными регионами в двух рассматриваемых последовательностях (настройка шага окна).

Стоит заметить, что в данной реализации пропуски вызваны не работой алгоритма, а рамкой считывания и прочими химическими процессами (то есть, предполагается работа с неполными последовательностями).

Из вышеописанного следует что процесс сборки перового полного генома имел несколько причин возникновения ошибок и неточностей. Одна из них – использование эвристического подхода для некоторых упрощений (пункты 1-4 появились из-за этого упрощения, чтобы сокращать найденные цепочки). Также неточности могли возникнуть из-за того, что в алгоритме [7] не использовались матрицы цен и выравнивания, оставляя выбор порогов пользователю (что давало некую гибкость, результатом которой стали последующие более «специализированные» реализации алгоритма как [3],[6] и [8-12]). Вышеперечисленное говорит о том, что не только человеческий фактор и наличие неотработанной технологии секвенирования того времени влияло на получение результата.

Еще одним важным выводом является то, что точность данной сборки можно рассчитать с помощью конечных цепей Маркова и симуляции Монте-Карло. Рассчитанные данным методом вероятности представлены в [7], вместе с заявлениями авторов, что (речь идет о процедурах описанного алгоритма) «Они также не дают никаких указаний на то, насколько найденные пересечения вероятны (inherently improbable), а также насколько найденная гомология «значимая» (“significant”). Это говорит о том, что сборка, полученная в [4] с произвольной рассчитываемой вероятностью, могла получиться совсем иного вида. Из чего можно заключить, что референсный геном phiX174 и его производная, используемая для калибровки секвенатора Illumina/Solexa [5] также была получена по воле некого случая.

Таким образом, проведенный анализ процесса сборки первого полного генома приводит к возникновению закономерного вопроса: насколько сильно «случай», накопленный посредством нескольких лет исследований влияет на результаты нынешних исследований. Или же, какие предубеждения (bias) мы можем получить, повторив все исследования получения генома калибровки, но изменив полученный в [4] результат согласно случаю, вызванному допущениям в [7]. Ответы на данные вопросы позволят улучшить точность нынешних алгоритмов и данных, а также рассчитать пороговые значения для математических моделей и новых алгоритмов выравнивания и сборки, а также влияние данных допусков на конечный результат (численное влияние, в отличие от предположительного, что можно найти во многих статьях, подобных [16]).

Список использованных источников:

1. Протько, М. А. Об обработке данных высокопроизводительного секвенирования = Processing of high-through sequencing data / М. А. Протько // Компьютерные системы и сети : сборник статей 60-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 22–26 апреля 2024 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2024. – С. 18–22.

2. Протько, М. А. Создание математической модели данных короткого секвенирования / М. А. Протько // Информационные технологии и системы 2024 (ИТС 2024) = Information Technologies and Systems 2024 (ITS 2024) : материалы

международной научной конференции, Минск, 20 ноября 2024 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск, 2024. – С. 175–176.

3. F. Sanger, A.R. Coulson [и др.], The Nucleotide Sequence of Bacteriophage phiX174 // Medical research Council Laboratory of Molecular Biology, Hills Road. Cambrige C B2 2QH. England, Received 2 June 1978. J. Mol. Biol. (1978) 125, p 225-246.

4. How much PhiX spike in is recommended when sequencing low diversity libraries on Illumina platforms? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://knowledge.illumina.com/instrumentation/general/instrumentation-general-reference_material-list/000001527. – Дата доступа: 1.05.2024.

5. Delaney A.D., A DNA sequence handling program. Department of Biochemistry, University of British Columbia, Vancouver, B.C., Canada V6T 1W5. Received 10 November 1981, Nucleic Acids Research, Volume 10 Number 1 1982, IRL Press Limited, 1 Falconberg Court, London W1V 5FG, U.K., p. 61-67.

6. R.Staden Sequence data handling by computer // Nucleic Acids Research, Volume 4 Number 11 November 1977, p 4037-4051. MRC Laboratory of Molecular Biology, Hills Road, Cambridge CB2 2QH, UK, DOI: 10.1093/nar/4.11.403.

7. Korn, L. J., Queen, C. L. and Wegman, M. N., "Computer analysis of nucleic acid regulatory sequences," Proc. Nat. Acad. Sci. USA, Vol. 74,1977, pp. 4401-4405. Staden, R., "Sequence data handling by computer," Nuc. Acids. Res., Vol. 4

8. Douglas L.Brutlag, J.Clayton [и др.] SEQ: A nucleotide sequence analysis and recombination system // Nucleic Acids Research, Volume 10 Number 1 1982, IRL Press Limited, 1 Falconber Court, Londin W1V 5FG, U.K. p 279 -294.

9. Merrifield, R.K. (1994). MicroGenie: Protein Analysis. In: Griffin, A.M., Griffin, H.G. (eds) Computer Analysis of Sequence Data. Methods in Molecular Biology, vol 24. Humana Press.

10. Oxford Molecular Group PLC. AssemblyLIGN 1.0. 9. Oxford, United Kingdom: Oxford Molecular Group PLC; 1998.

11. Broveak T. Geneworks. Biotechnol Software Internet J 1996;13:1114.

12. Parker S. Autoassembler sequence assembly software. Methods Mol Biol 1997;70:107–18.

13.Aho, A. V., Hopcroft, J. E. & Ullman, J. D. (1974) The Designand Analysis of Computer Algorithms (Addison & WesleyPublishing Co., Reading, MA).

14. F. Sanger The Croonian Lecture, 1975^ Nucleotide Sequences in DNA // Proc. R. Soc. Lond. B. 191, 317-333 (1975), Great Britain, Medical Research Council Laboratory of Molecular Biology, Cambrige, The Royal Society, Vol. 191, B. (2 December 1975)

15. Carter,J. L. & Wegman,M. N. (1977)Proc.Ninth AnnualACM Symp.on Theoryof Computing (Boulder,CO), pp. 106-112

16. Alkan, C., Sajjadian, S. & Eichler, E. Limitations of next-generation genome sequence assembly. Nat Methods ***8****, 61–65 (2011). https://doi.org/10.1038/nmeth.1527*

UDC 572.112

ABOUT FIRST DE NOVO GENOME ASSEMBLY PROGRAMS

Protsko M.A.[1]

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics[1]*, Minsk, Republic of Belarus*

Borisenko O.F. – PhD in Physics and Mathematics

Annotation. This paper presents brief information necessary for changes and optimizations of existing algorithms used in the field of bioinformatics, namely, the assembly of genome data based on "short" reads of sequencing by Sagner.

Keywords. Genome assembly, phiX174, shotgun sequencing, regular expression search, jigsaw puzzle.

УДК 004.354.4, 004.352.22

ПРИМЕНЕНИЕ RGB-D ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Черноок А.Ю., студент гр.150501

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Перцев Д.Ю. – канд.техн.наук, доцент

Аннотация. В данной статье рассматриваются основные методы трехмерного сканирования – лазерный и оптический, с акцентом на оптический подход с использованием RGB-D камеры Orbbec Astra. Описывается принцип работы с данной камерой с использованием библиотеки OpenNI, рассматриваются примеры обработки данных с использованием OpenCV и Open3D, а также приводится план практической реализации устройства.

Ключевые слова. Трехмерное сканирование. RGB-D. Камера глубины. Orbbec Astra. OpenNI. Open3D.

В современном мире технологии для работы с трехмерной графикой постепенно становятся неотъемлемой частью человеческой деятельности. 3D-моделирование и 3D-печать, виртуальная и дополненная реальности, а также компьютерная графика, – все эти инструменты уже используются для анализа и визуализации в цифровой среде с целью оптимизации производственных процессов и сокращения затрат времени и ресурсов. Среди наиболее значимых и в то же время нетривиальных технологий в этой области особое место занимает трехмерное сканирование, которое позволяет преобразовывать физические параметры объектов в цифровые данные. Выделяют два основных метода фиксации геометрических параметров объектов – лазерный и оптический.

Лазерное 3D-сканирование основано на принципе триангуляции и измерении расстояния до объекта с помощью лазерного луча. Лазерный источник излучает луч, который отражается от поверхности объекта, а сенсор фиксирует угол отклонения и/или время возврата луча, после чего формируется облако точек, где каждая точка содержит информацию о координатах в пространстве, после чего «собирается» 3D-модель. Принцип работы лазерного 3D-сканера представлен на рисунке 1.

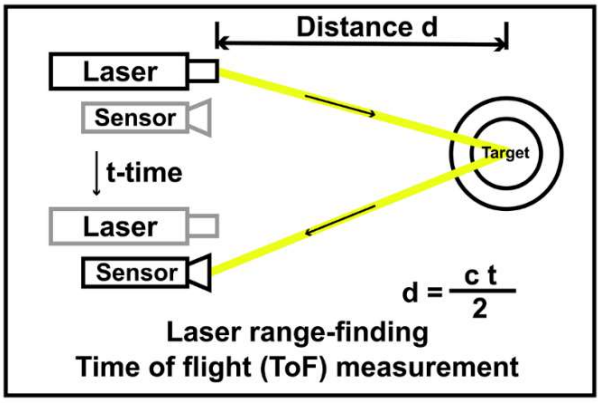


Рисунок 1 – Принцип работы лазерного 3D-сканера [2]

Преимуществами лазерного 3D-сканера являются относительная независимость от освещения и высокая эффективность сканирования больших объектов и площадей на расстоянии. Ввиду этого лазерное 3D-сканирование нашло широкое применение в строительстве, топографии и крупномасштабных промышленных приложениях. Однако эффективность данной технологии падает, когда возникает необходимость работать с отражающими и пропускающими свет поверхностями – блестящими, зеркальными и прозрачными.

Оптическое 3D-сканирование использует структурированный свет или фотограмметрию: при сканировании с помощью проектора и двух (иногда одной) камер с разных ракурсов на объект проецируется световой узор (сетка или полосы), камеры фиксируют деформацию этого рисунка, что дает информацию о глубине и кривизне поверхности, форме предмета. Принцип работы оптического 3D-сканера представлен на рисунке 2.

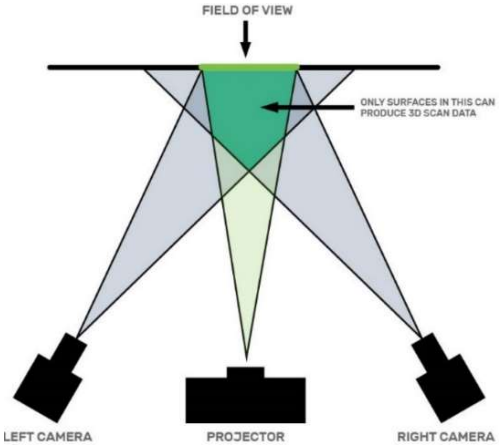


Рисунок 2 – Принцип работы оптического 3D-сканера [2]

Преимуществом оптического 3D-сканера является быстродействие, так как структурированные системы освещения могут захватывать тысячи точек одновременно, а также возможность работы с цветными текстурами. К недостаткам данного метода относится ограничение по сканированию при работе с крупными объектами – в таких случаях требуется использование наклеек-маркеров, небольших черно-белых меток, создающих опорные точки для последующего сшивания фрагментов в единую 3D-модель. Кроме того, метод оптический 3D-сканер чувствителен к условиям освещения и может давать неточные результаты при сканировании прозрачных или блестящих поверхностей.

К одним из наиболее доступных и широко применяемых вариантов оптического сканирования относят RGB-D камеры, которые позволяют одновременно получать цветовое изображение (RGB) и данные о глубине (D). Такие устройства используют инфракрасное излучение и специальные сенсоры для построения карты глубины, что делает их удобным инструментом для задач технического зрения и 3D-моделирования. В качестве примера RGB-D камеры в данной работе рассматривается устройство Orbbec Astra (см. рисунок 3).



Рисунок 3 – 3D-датчик глубины Orbbec Astra

Orbbec Astra – это 3D-датчик глубины, использующий технологию Structured Light (структурированное освещение) для захвата информации о расстоянии до объектов. В основе устройства – проектор, который отображает инфракрасный узор на объекте, и камера, анализирующая искаженные изображения этого узора для определения расстояния до поверхности.

Для обработки данных Orbbec Astra использует собственный ASIC (Application-Specific Integrated Circuit) – специализированную интегральную схему, оптимизированную для вычислений, связанных с анализом 3D-глубины, что значительно повышает производительность и уменьшает нагрузку на центральный процессор. Схематичное представление камеры изображено на рисунке 4. Из основных компонентов для сбора данных можно выделить следующие:

1. Проектор. Используется для отображения инфракрасного узора на сканируемом объекте, который необходим для вычисления глубины путём анализа его искажений.

2. ИК-сенсор представляет собой камеру, которая захватывает искажения инфракрасного узора, что позволяет вычислить расстояние до объектов.

3. Система защиты глаз фильтрует нежелательное инфракрасное излучение, предотвращая его попадание в зону видимости пользователя, что важно для безопасного использования устройства.

4. RGB-сенсор. Захватывает цветные изображения, которые можно комбинировать с данными о глубине для получения полноцветных 3D-изображений.

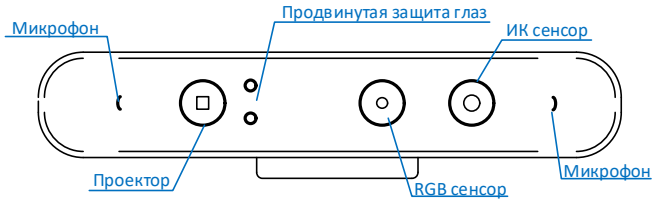


Рисунок 4 – Схематичное представление Orbbec Astra

Для работы с RGB-D камерой необходимо специализированное программное обеспечение. Компания Orbbec предоставляет собственные драйверы и Orbbec SDK, включающий инструменты для получения и обработки потоков данных. В рамках данной работы драйвер был успешно установлен, однако для взаимодействия с камерой на низком уровне используется платформа OpenNI, обеспечивающая доступ к данным глубины и цветового изображения.

OpenNI (Open Natural Interaction) – это программный фреймворк с открытым исходным кодом, предназначенный для работы со специализированными аппаратными сенсорами. OpenNI выполняет роль связующего слоя между аппаратными устройствами (сенсоры, такие как камеры глубины и микрофоны), промежуточным ПО (middleware-компоненты, например, для трекинга жестов) и конечным приложением, использующим данные от сенсоров (см. рисунок 5). OpenNI получает данные от сенсоров, передает их на обработку в middleware-компоненты, а затем отправляет результаты в конечные приложения, такие как игры, браузеры и ТВ-порталы.

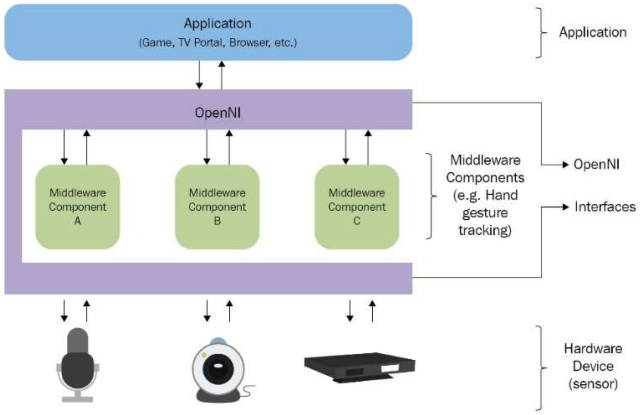


Рисунок 5 – Устройство систем, использующих OpenNI [7]

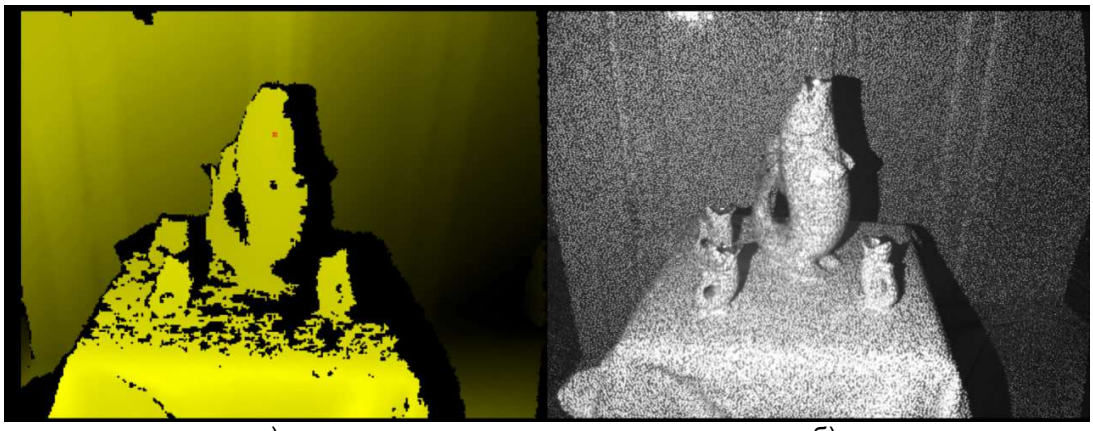
Одной из функциональных возможностей данной библиотеки является поддержка трекинга жестов и движений. С использованием камеры глубины OpenNI может идентифицировать и отслеживать основные суставы тела (колени, локти, плечи и голову) в реальном времени (см. рисунок 6), распознавать управляющие речевые команды.



Рисунок 6 – Пример отслеживания скелета с помощью OpenNI [8]

В комплект OpenNI входят необходимые для программирования библиотеки (SDK) и готовые инструменты, одним из которых является утилита NiViewer – программа для визуализации потоков,

получаемых с камеры. С её помощью в режиме реального времени возможно наблюдать изображение с сенсора глубины и RGB-камеры, что продемонстрировано на рисунке 7.



а) б)

Рисунок 7 – Вывод утилиты OpenNI: а – поток датчика глубины; б – поток цифровой камеры

OpenNI обеспечивает низкоуровневый доступ к потокам данных с RGB-D камеры, поэтому он может быть интегрирован с другими библиотеками (например, OpenCV). Затрагивая работу лишь с RGB-D изображениями, OpenCV предлагает следующий функционал:

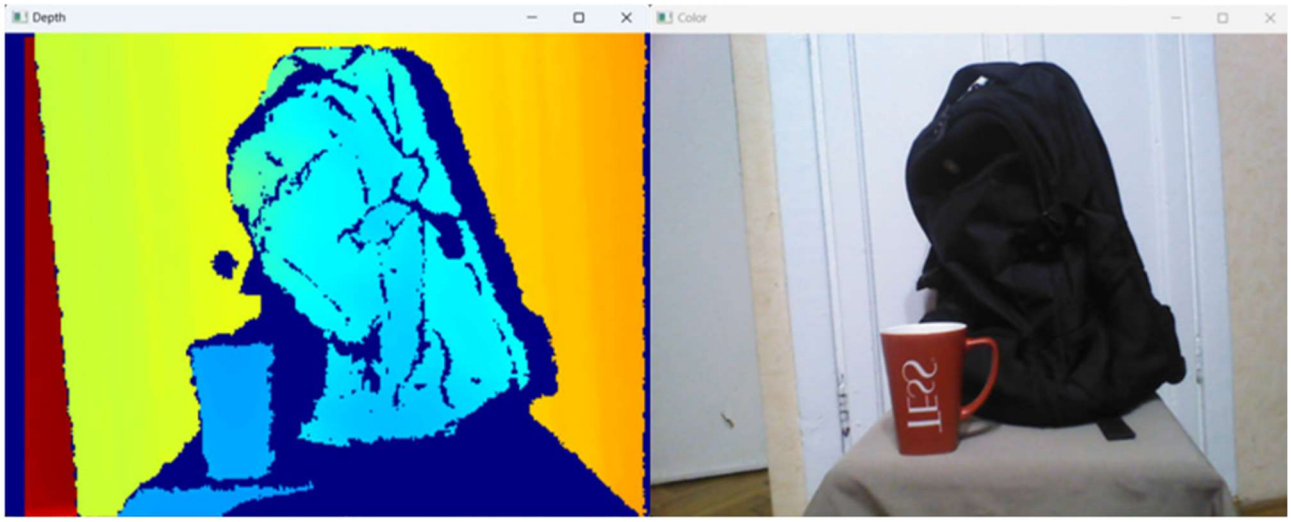
– выравнивание RGB и глубины с помощью определенных методов калибровки, необходимое из-за аппаратных особенностей камеры по причине возможности получения несовмещенных изображений;

– уменьшение количества шумов, присутствующих на картах глубины, посредством специальных алгоритмов фильтрации глубинных данных;

– обнаружение и сегментация, что позволяет точнее выделять объекты на сцене;

– построение 3D-модели сцены на основе данных глубины путем формирования облаков точек (без поддержки визуализации).

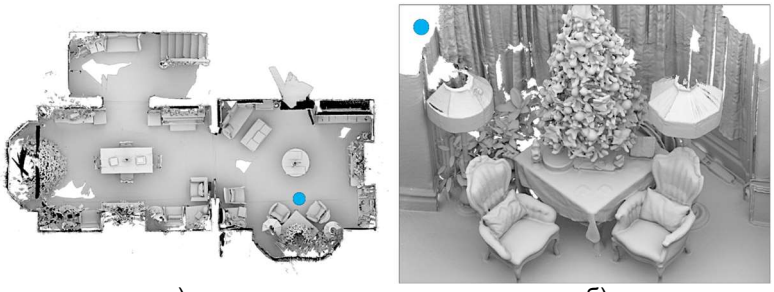
В качестве примера обработки цветного изображения и карты глубины с помощью OpenCV были получены данные, представленные на рисунке 8.



а) б)

Рисунок 8 – Пример обработки RGB-D данных в OpenCV: а – поток датчика глубины; б – поток цифровой камеры

Кроме вышеупомянутого ещё одним примером эффективного использования данных глубины, полученных с RGB-D камер, является их интеграция в библиотеку Open3D – открытую библиотеку, разработанную для работы с 3D-данными, включая облака точек, 3D-модели, изображения и видео. Эта библиотека предоставляет мощные инструменты для работы с 3D-геометрией, компьютерным зрением, и обработки данных. Пример проекта, использующего Open3D, представлен на рисунке 9.



а) б)

Рисунок 9 – Пример проекта, использующего Open3D: а – вид сверху; б – вид конкретного участка [10]

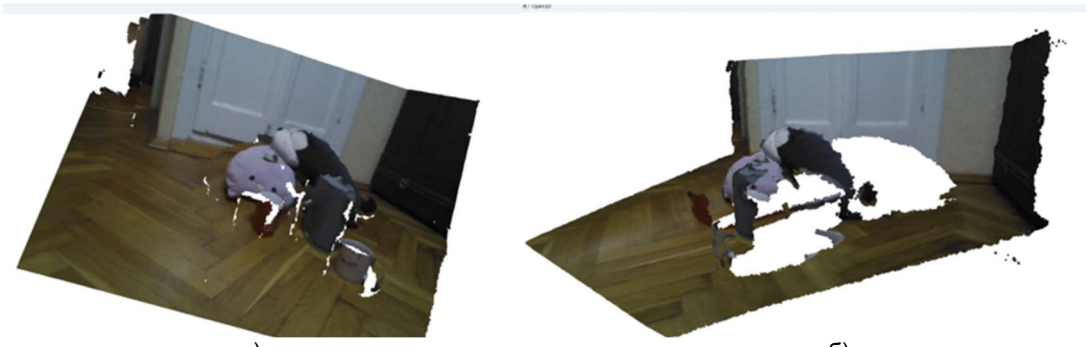
Из основных инструментов можно выделить:

– работа с облаками точек: чтение, визуализация, фильтрация, сегментация и выравнивание;

– построение полигональных сеток, или mesh-структур, из облаков точек при помощи алгоритма Poisson Surface Reconstruction, который восстанавливает поверхность объекта, основываясь на данных этих точек;

– экспорт и импорт данных за счет поддержки различных форматов файлов для обмена данными, включая «.ply», «.stl», «.obj».

Пример обработки цветного изображения и карты глубины с помощью Open3D представлен на рисунке 10.

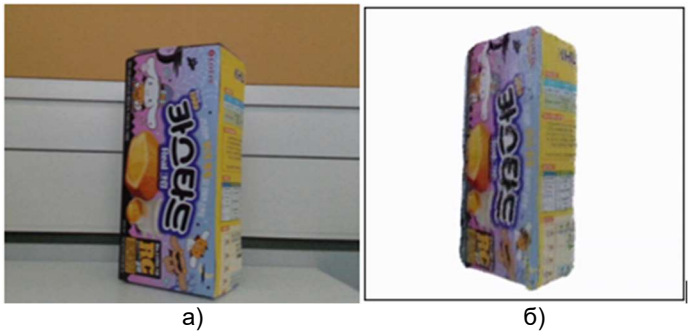


а) б)

Рисунок 10 – Пример обработки RGB-D данных с помощью Open3D: а – вид с ракурса камеры; б – вид сбоку

При построении трехмерной модели объекта, «снятого» на RGB-D камеру, недостаточно данных, полученных с одного ракурса – необходим набор снимков, захваченных с разных сторон. Существуют различные подходы для объединения этих данных: от использования заранее известных параметров, таких как углы поворота и координаты положения объекта, до применения специализированных алгоритмов, способных автоматически оценивать и вычислять относительное смещение ракурсов. Среди эффективных решений можно выделить использование алгоритмов SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) – для нахождения общих точек между изображениями и/или ICP (Iterative Closest Point) – для точной сшивки облаков точек.

В качестве примера успешного совмещения вышеупомянутых алгоритмов и RGB-D данных в контексте трехмерного сканирования может быть рассмотрен размещенный на платформе GitHub проект 3D_Object_Reconstruction, входные и выходные данные которого представлены на рисунке 11.



а) б)

Рисунок 11 – Проект 3D_Object_Reconstruction: а – объект; б – его 3D-модель [11]

Для автоматизации процесса получения изображений с разных ракурсов, а также создания универсального инструмента, позволяющего применять решения, аналогичные проекту 3D Object

Reconstruction реализуется программно-аппаратный комплекс для 3D сканирования объектов, в состав которого входят: беспроводная установка с вращающейся платформой, RGB-D камера Orbbec Astra и прикладное программное обеспечение для управления процессом сканирования. Аппаратная часть реализована на базе универсального микроконтроллера ESP32 с поддержкой Wi-Fi и шагового двигателя Nema 17HS8401. Процесс проектирования и сборки установки с вращающейся платформой представлен на рисунке 12.

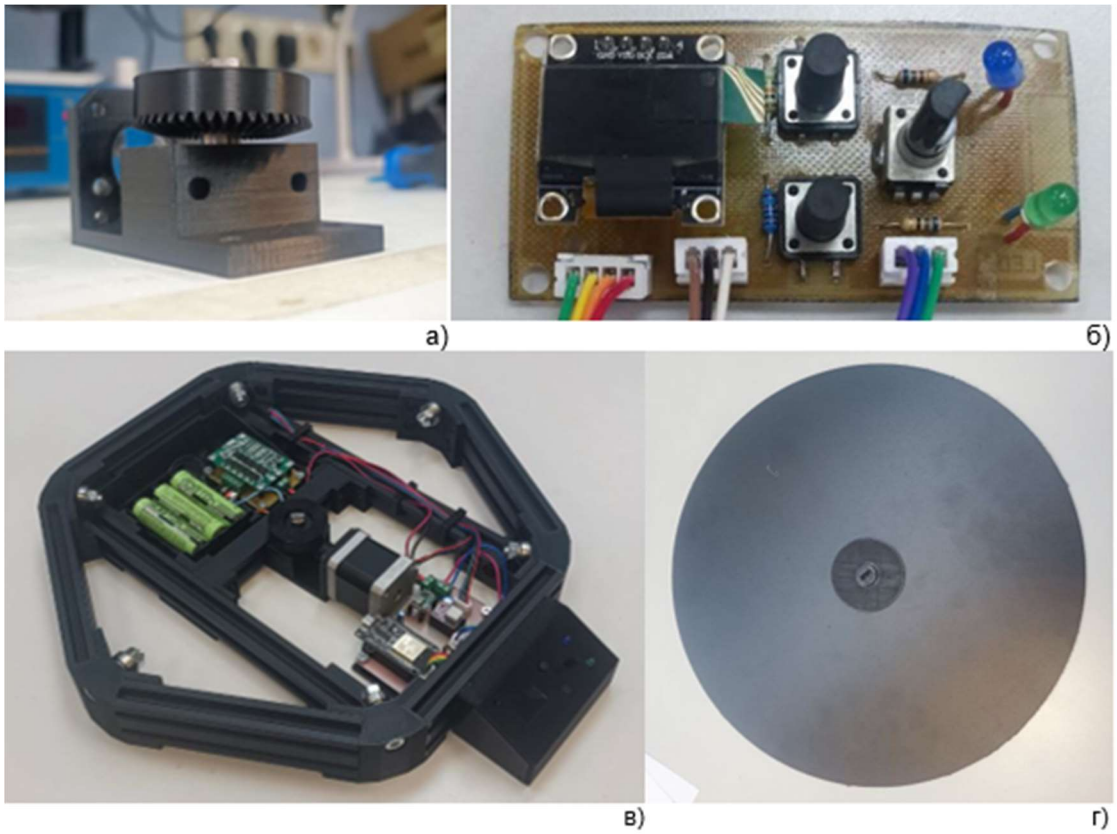


Рисунок 12 – Прогресс реализации установки комплекса: а – крепление вращающего вала; б – плата панели управления; в – каркас; г – диск платформы

В планах развития – реализация протокола взаимодействия между установкой и прикладным ПО для обмена данными, управления углом поворота и синхронизации процесса съемки, а также интеграция в ПО инструментов для базовой обработки полученных данных.

Список использованных источников:

1. Cvetmir [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cvetmir3d.ru/blog/poleznoe/printsipy-raboty-3d-skanera-vidy-skanerov-tekhnologii-i-metody-skanirovaniya/#title-dop1-3 – Дата доступа: 17.04.2025.

2. Polyga [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.polyga.com/blog/part-4-3d-scanning-101-structured-light-vs-laser-3d-scanning/ – Дата доступа: 17.04.2025.

3. Top3dshop [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://top3dshop.ru/blog/optical-scanners-review.html#princip-raboty-opticheskih-3d-skanerov – Дата доступа: 17.04.2025.

4. Orbbec [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.orbbec.com/products/structured-light-camera/astra-series – Дата доступа: 17.04.2025.

5. Thingiverse [электронный ресурс]. – Режим доступа:]https://www.thingiverse.com/thing:6897385/apps – Дата доступа: 17.04.2025.

6. Github [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://github.com/OpenNI/OpenNI – Дата доступа: 17.04.2025.

7. Oreilly [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.oreilly.com/library/view/learning-robotics-using/9781788623315/31d57e1b-d6a2-41b2-bd56-5d0912612a7a.xhtml – Дата доступа: 17.04.2025.

8. Researchgate [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/figure/1-NITE-skeleton-tracker-provided-by-OpenNI-open-source-project-2-Microsoft-Kinect_fig1_291338992 – Дата доступа: 17.04.2025.

9. Docs [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.opencv.org/3.4/d2/d3a/group__rgbd.html – Дата доступа: 17.04.2025.

10. Open3D [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.open3d.org – Дата доступа: 17.04.2025.

11. Github [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://github.com/PHANTOM0122/3D_Object_Reconstruction?tab=readme-ov-file – Дата доступа: 17.04.2025.

12. Thingiverse [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.thingiverse.com/thing:764202 – Дата доступа: 17.04.2025.

APPLICATION OF RGBD TECHNOLOGIES IN VISION SYSTEMS

Charnavok A.Y.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Pertsev D.Y. – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

Annotation. This article discusses the main methods of a three-dimensional source - laser and optical, with an emphasis on the optical approach using the Orbbec Astra RGB-D camera. The operating principle of this plate using the OpenNI library is described, examples of data processing using OpenCV and Open3D are described, and a plan for the practical implementation of the device is given.

Keywords. Three-dimensional scanning. RGB-D. The depth camera. Orbbec Astra. OpenNI. Open3D.

УДК 004.932.1

СЕГМЕНТАЦИЯ СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Ерофеев В.С., студент гр.250502

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Перцев Д.Ю. – канд. техн. наук, доцент

Аннотация. В работе проводится сравнительный анализ архитектур сверточных нейронных сетей U-Net и Feature Pyramid Network применительно к задаче сегментации спутниковых изображений. Полученные результаты показывают, что обе архитектуры демонстрируют высокую точность сегментации, при этом U-Net обеспечивает лучшую детализацию мелких объектов, а Feature Pyramid Network – более устойчивую сегментацию объектов различного масштаба.

Ключевые слова. Спутниковые изображения, U-Net, Feature Pyramid Network, сверточные нейронные сети, обнаружение объектов.

Применение традиционных методов обработки изображений при сегментации объектов сложной формы и различного масштаба оказываются малоэффективными. В то же время современные подходы, основанные на сверточных нейронных сетях (CNN), демонстрируют высокую эффективность в решении задач подобного рода. Среди них следует выделить такие модели, как U-Net и Feature Pyramid Network (FPN), которые изначально успешно применялись в медицинской диагностике и затем были адаптированы к обработке спутниковых данных.

Модель U-Net изначально была предложена для сегментации биомедицинских изображений [1]. Она состоит из симметричных энкодера и декодера с пропусками между соответствующими уровнями, что позволяет эффективно восстанавливать пространственную информацию и обеспечивать точную сегментацию объектов. Данная сеть показала высокую эффективность при ограниченном объеме обучающих данных и широко используется в задачах сегментации различных типов изображений.

Модель FPN была разработана для улучшения обнаружения объектов различного масштаба [2]. Она использует иерархическую структуру признаков, в которых информация с разных уровней объединяется с помощью нисходящего пути и боковых соединений. Это позволяет эффективно сегментировать объекты различного размера и формы. FPN применяется в задачах обнаружения и сегментации объектов на изображениях высокой сложности.

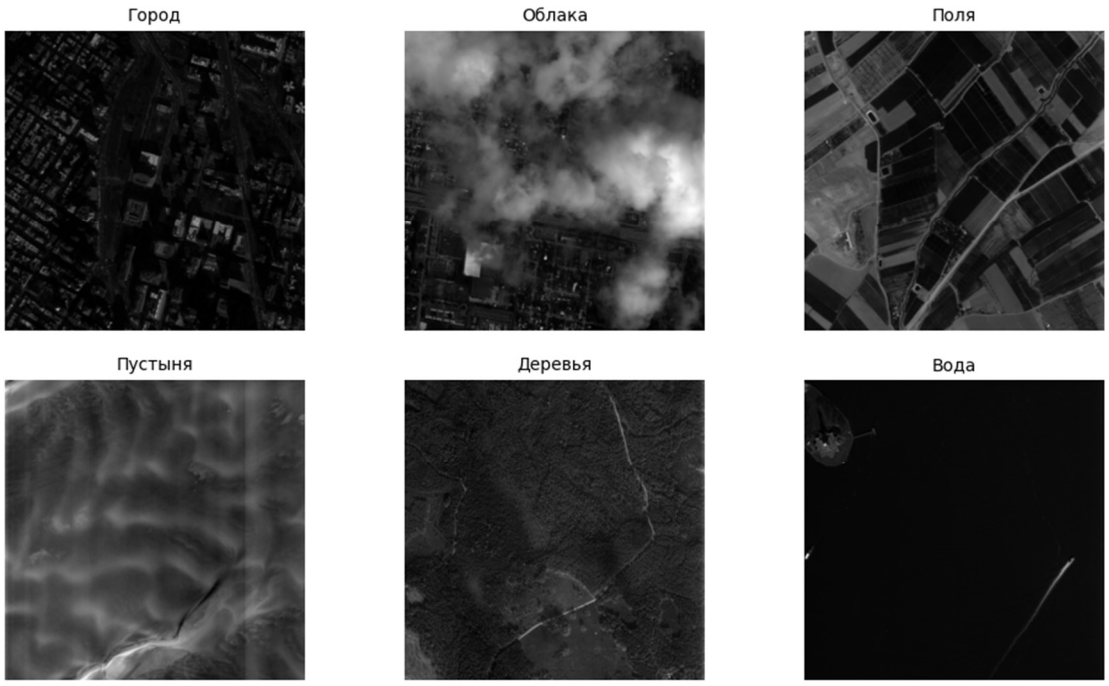
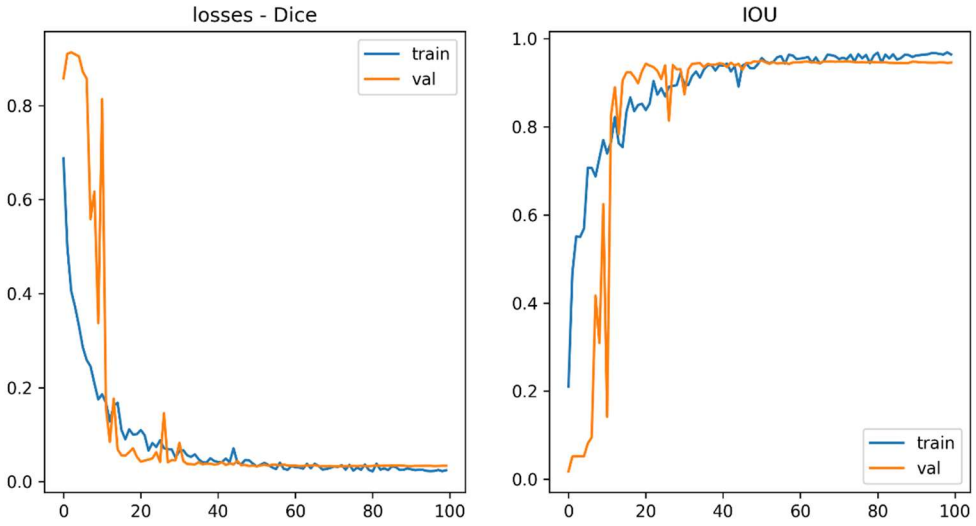


Рисунок 1 – Примеры классов

Для проведения эксперимента использовался набор спутниковых снимки, охватывающий различные географические регионы. Изображения были размечены по шести классам: город, облака, деревья, поля, пустыни, деревья и вода. Примеры классов представлены на рисунке 1. Соотношение классов одинаковое. Все изображения были разделены на три группы: для обучения (80% от общей выборки), для проверки (10%) и тестирования (10%). При обучении к каждому изображению применялась аугментация данных (повороты, размытие, повышение четкости) и нормализация. Разметка выполнялась вручную с использованием специализированного программного обеспечения CVAT, обеспечивая высокое качество обучающей выборки. Всего было обработано 250 изображений.
Для извлечения признаков в моделях U-Net и FPN выбран энкодер ResNet-18 [3]. Данный выбор обусловлен балансом между вычислительной эффективностью и способностью модели извлекать детальные признаки, что особенно важно для сегментации сложных географических объектов. Также использовались предобученные на ImageNet веса, чтобы модель начинала обучение с уже «наученного» представления визуальных признаков. Для многоклассовой семантической сегментации используется функция активации SoftMax2D, которая нормализует выходные значения по каждому пикселю, распределяя вероятность принадлежности к одному из шести классов. Модель обучалась на протяжении 100 эпох. Все это позволило достичь стабилизации метрик обучения и достаточной сходимости для точного выделения объектов.
Для оценки эффективности обучения моделей U-Net и FPN были построены графики изменения метрик Dice Loss и IoU и в зависимости от количества эпох (см. рисунки 2 и 3 для моделей U-Net и FPN соответственно). График метрики IoU отражает, как изменяется точность сегментации по мере обучения модели. При этом рост значения свидетельствует о том, что модель лучше справляется с задачей сегментации по мере увеличения эпох, правильно определяя границы объектов на изображениях. График функции Dice Loss показывает, как уменьшается ошибка модели при обучении. Снижение данного значения указывает на то, что модель с каждой эпохой точнее предсказывает маски объектов, уменьшая расхождение между предсказанными и истинными сегментами. В таблице 1 представлены итоговые значения по выбранным метрикам.
Как видно из полученных результатов, модель U-Net продемонстрировала более качественные результаты. На рисунках 4 и 5 представлены примеры масок для спутниковых снимков, полученных при съемке города и леса, с использованием указанных моделей.
Визуальный анализ масок, полученный в результате сегментации, показал, что U-Net точнее определяет границы объектов, особенно в случаях с мелкими деталями, такими как узкие полосы воды или небольшие участки деревьев.

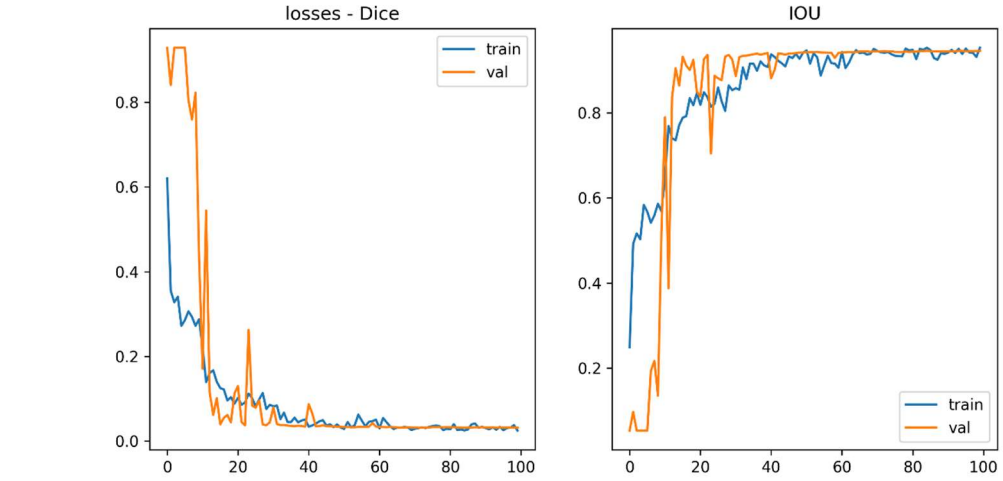
Таблица 1 – Значения метрик Dice Loss и IoU, которые были получены при обучении в течении 100 эпох.

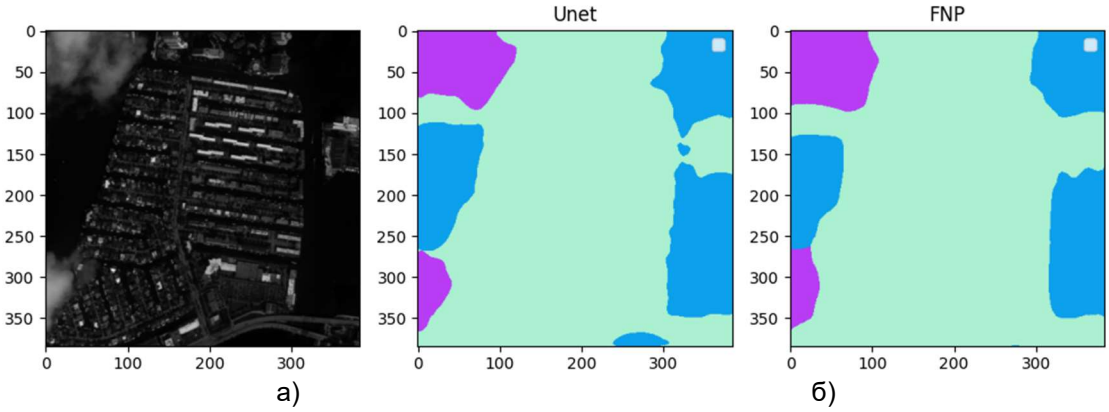
Метрика	U-Net	FPN
IoU	0.9187	0.9054
Dice Loss	0.0525	0.0583



а) б)

Рисунок 2 – График обучение U-Net: а – значение Dice Loss; б – значение IoU





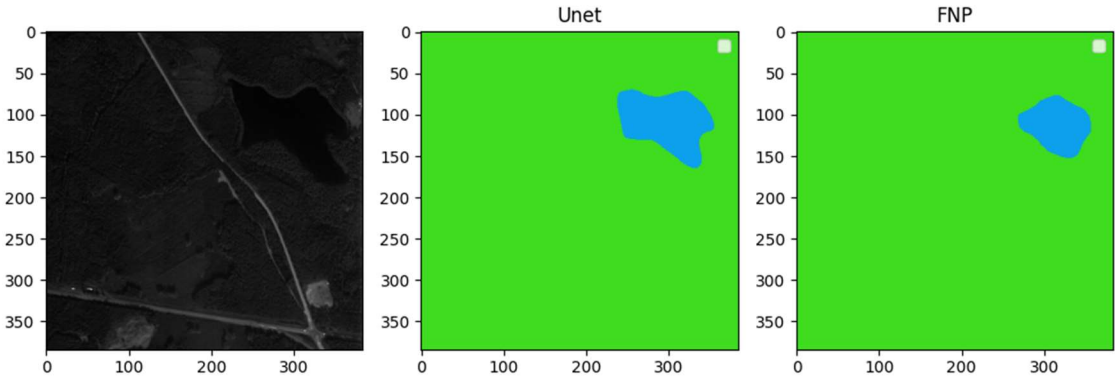


Рисунок 3 – График обучение FPN: а – значение Dice Loss; б – значение IoU

Рисунок 4 – Результат сегментации спутникового снимка, полученного при съемке города

Рисунок 5 – Результат сегментации спутникового снимка, полученного при съемке леса

Результаты проведенного исследования показали, что модель U-Net превосходит FPN по ключевым метрикам: IoU и Dice Loss (0.9187 и 0.0525 против 0.9054 и 0.0583 соответственно). Визуальный анализ подтвердил, что U-Net более точно сегментирует мелкие объекты и определяет границы между различными классами.

Таким образом, архитектура U-Net является более предпочтительной для задач, требующих высокой точности сегментации и детального распознавания объектов на спутниковых изображениях.

Список использованных источников:

1. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation: [электронный ресурс] // arXiv. – 2015. – URL: https://arxiv.org/pdf/1505.04597.pdf (дата обращения: 14.04.2025).

2. Lin T.-Y., Dollár P., Girshick R. [и др.]. Feature Pyramid Networks for Object Detection: [электронный ресурс] // arXiv. – 2016. – URL: https://arxiv.org/pdf/1612.03144.pdf (дата обращения: 14.04.2025).

3. He K., Zhang X., Ren S., Sun J. Deep Residual Learning for Image Recognition: [электронный ресурс] // arXiv. – 2015. – URL: https://arxiv.org/pdf/1512.03385.pdf (дата обращения: 14.04.2025).

UDC 004.932.1

SEGMENTATION OF SATELLITE IMAGES BASED ON CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS

Yerofeyev V.S.[1]

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics[1]*, Minsk, Republic of Belarus*

Pertseu D.Y.– PhD in Technical Sciences

Annotation. In the paper we compare the U-Net and Feature Pyramid Network convolutional neural network architectures for the satellite image segmentation. The results show that both architectures demonstrate high segmentation accuracy, with U-Net providing better detail of small objects and Feature Pyramid Network providing more stable segmentation of objects of different scales.

Keywords. Satellite images, U-Net, Feature Pyramid Network, Convolutional neural networks, object detection.

УДК 004.4

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОГРАММНОГО КОДА, НАПИСАННОГО ЧЕЛОВЕКОМ И СГЕНЕРИРОВАННОГО ИИ

Желтко Ю.Ю., магистрант гр.355841

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Одинец Д.Н. – канд. тех.. наук

Аннотация. Исследование посвящено сравнению кода, написанного человеком и сгенерированного искусственным интеллектом. Производится сравнительный анализ этих типов кода на тестовых данных. Анализируются длина кода, количество комментариев и длина функций.

Ключевые слова. Искусственный интеллект (ИИ), анализ кода, длина функций, комментарии, структура программ.

Современное программное обеспечение все чаще создается с использованием инструментов на основе искусственного интеллекта (ИИ), включая генерацию кода. Это приводит к необходимости изучения различий между кодом, написанным человеком (КНЧ) и кодом, созданным нейросетевыми моделями (КСНМ). Целью данного исследования является выявление характерных особенностей обоих типов кода, определение различий в длине кода, длине функций и количестве комментариев. Данный анализ необходим не только для понимания технических аспектов программного обеспечения, но и для оценки перспектив дальнейшей автоматизации разработки ПО с помощью ИИ.

Подобные исследования, посвященные анализу программного кода, изучающее различия между КНЧ и КСНМ имеет ряд аналогов. Например, в исследовании «Evaluating Code Readability and Legibility: An Examination of Human-centric Studies» [1] анализируется влияние таких факторов как используемые программные конструкции и соглашения об именах, влияют на читаемость и разборчивость кода. В исследовании «Between Lines of Code: Unraveling the Distinct Patterns of Machine and Human Programmers» [2] выявляются различии КНЧ и КСНМ. Авторы анализируют такие характеристики, как лексическое разнообразие, краткость и естественность кода, выявляя уникальные паттерны для каждого источника. Исследование демонстрирует, что машинный код часто обладает уникальными особенностями, такими как повторяемость шаблонов и нестандартное использование операторов.

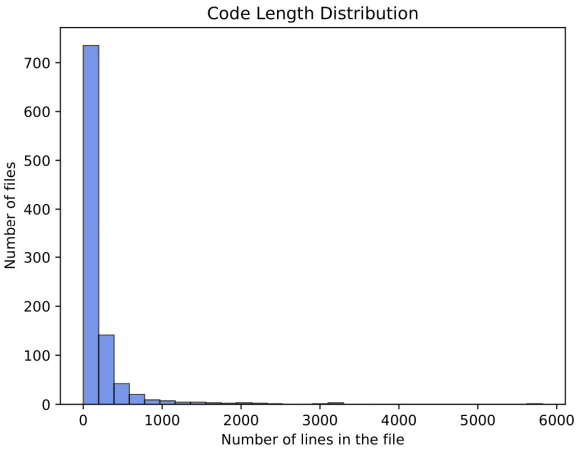
Исследование рассматриваемых видов кода производилось по следующим параметрам:

1. Длина кода: Измерение распределения длины кода в различных файлах с целью определения, насколько различаются объемы кода, написанного человеком и ИИ.
2. Комментарии и документирование: Оценка доли закомментированных строк в коде с целью определения уровня документированности и сопровождаемости.
3. Длина функций: Анализ средней и максимальной длины функций для выявления различий в структурировании кода и предпочтениях при написании логических блоков.

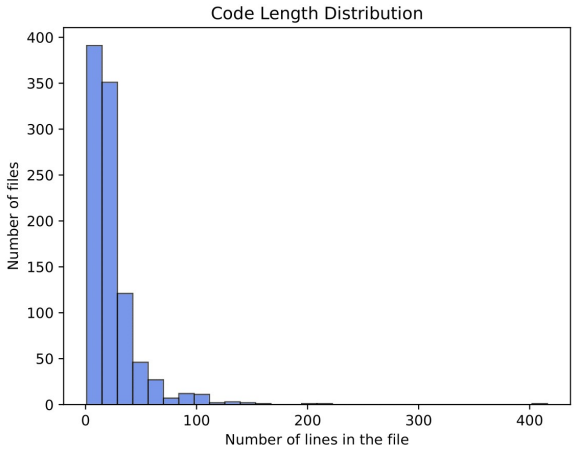
Эти характеристики напрямую влияют на качество, сопровождаемость и надёжность программного обеспечения.

Исследование проводилось на наборе из 1000 файлов КНЧ и более 900 файлов КСНМ. Данные были собраны из открытых репозиториев сервиса Github.com, созданных до 2019 года, не редактированных позднее 2020 года и структурированы для интеллектуального анализа. Для генерации кода ИИ был использован сервис ChatGPT с моделями 4o и o3-mini-high. Выбор именно этих моделей обусловлен их широким распространением, открытостью использования и высоким качеством генерации кода, подтверждённым многочисленными тестами и отзывами разработчиков [3].

На рисунке 1 представлено распределение длины кода относительно количества исследуемых файлов для двух типов данных: КНЧ и КСНМ. Анализ показал, что КНЧ существенно длиннее и сложнее, чем КСНМ. На диаграмме КНЧ длина файлов варьируется от 0 до более чем 6000 строк. В КСНМ диапазон значительно меньше – от 0 до 400 строк. Данное распределение свидетельствует о том, что ИИ склонен генерировать короткие и компактные программы. В КСНМ наибольшее количество файлов сосредоточено в диапазоне от 0 до 200 строк, и пик приходится на 50-100 строк. Полученные результаты позволяют предположить, что нейросетевые модели чаще используют стандартизированные подходы к решению задач, избегая сложных или многоуровневых алгоритмических конструкций. Это может объясняться как ограничениями текущих технологий, так и спецификой обучающих данных, на которых тренируются модели ИИ.



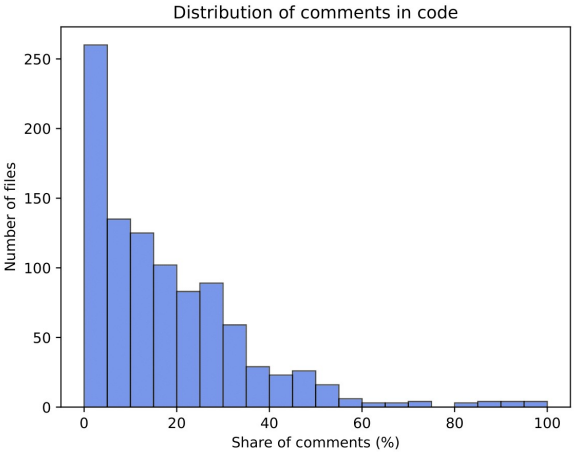
а)



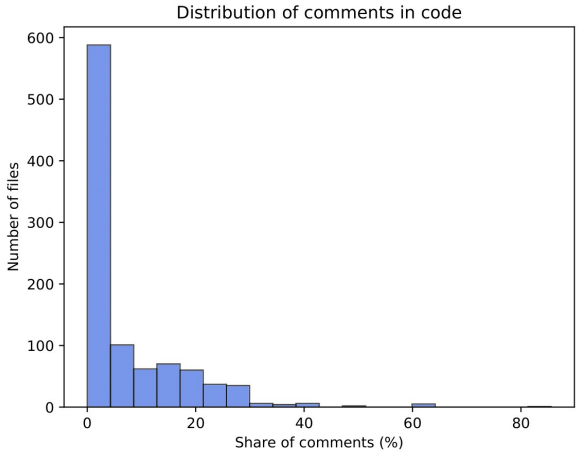
б)

Рисунок 1 – Распределение длины кода: а – написанного человеком; б – написанного ИИ

На рисунке 2 представлены распределения комментариев, относительно числу строк в файлах.



а)



б)

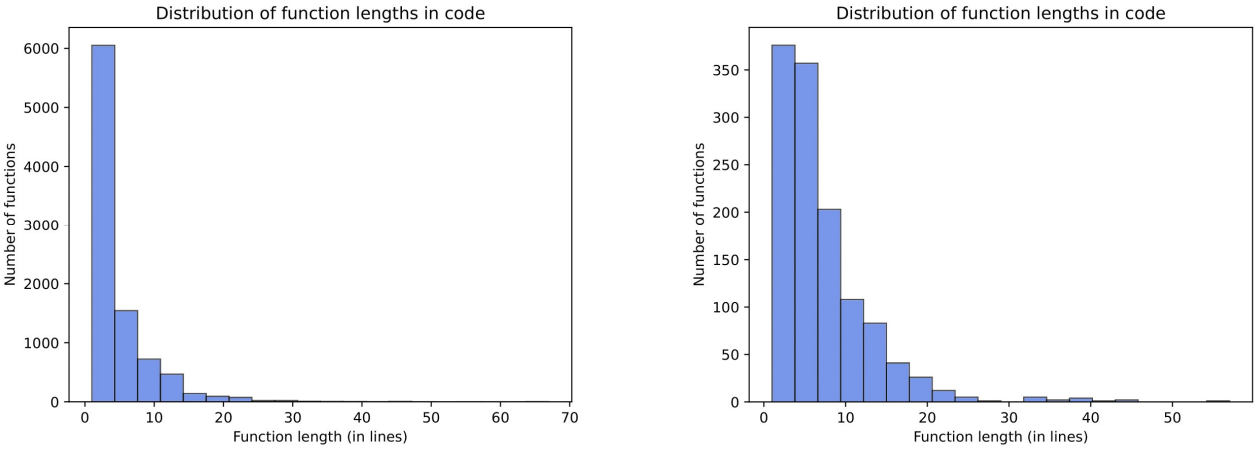
Рисунок 2 – Распределение комментариев в коде: а – написанного человеком; б – написанного ИИ

Комментарии играют ключевую роль в понимании и сопровождении кода. Они помогают разработчикам быстро ориентироваться в логике программы и облегчают процесс обновления и модификации кода. Отсутствие или несоответствие комментариев может привести к недопониманию и увеличению количества ошибок. Исследования [4] показывают, что несогласованность между кодом и комментариями увеличивает вероятность внесения ошибок в 1,5 раза. Поэтому качественные и актуальные комментарии являются неотъемлемой частью надёжного программного обеспечения.

Анализ показал, что комментирование КНЧ значительно более разнообразно и может достигать очень высокой доли (до 100%), что часто встречается в учебных и академических проектах. КСНМ почти всегда имеет низкую долю комментариев (до 20%), что говорит о слабой способности ИИ к генерации объяснительного текста. КНЧ демонстрирует как низкую, так и высокую насыщенность комментариями, тогда как КСНМ практически лишён файлов с высокой долей комментариев.

На рисунке 3 представлены распределения длины функций относительно их количества. Длина функций оказывает существенное влияние на читаемость и сопровождаемость кода. Функции, содержащие более 143 строк, требуют в 2,4 раза больше усилий на исправление ошибок по сравнению с более короткими функциями [5]. Кроме того, высокая цикломатическая сложность, связанная с длинными функциями, увеличивает риск появления ошибок и затрудняет тестирование.

Анализ показал, что функции в КНЧ существенно длиннее и разнообразнее по структуре, чем функции, созданные ИИ. На диаграмме КНЧ длина функций варьируется от 0 до более 70 строк. В КСНМ диапазон значительно меньше – от 0 до примерно 50 строк. Данное распределение свидетельствует о том, что ИИ склонен генерировать более короткие функции. В КНЧ наибольшее количество функций сосредоточено в диапазоне от 5 до 15 строк, и пик приходится на 10 строк. В КСНМ также наблюдается пик в диапазоне 5-15 строк, но общее количество функций гораздо меньше. Это указывает на ограниченность структуры и сложности функций, генерируемых ИИ, по сравнению с КНЧ.



а) б)

Рисунок 3 – Распределение длины функций в коде: а – написанного человеком; б – написанного ИИ

Исследование показало, что КСНМ имеет более высокую читаемость и меньшую длину, но обладает недостаточной степенью комментирования и глубиной вложенности логических конструкций. КНЧ, несмотря на большую сложность и разнообразие, демонстрирует гибкость и способность решать более сложные задачи за счёт глубокой проработки архитектуры. Обнаруженные различия между КНЧ и КСНМ позволят более критически оценивать результаты работы генеративных моделей, а также помогут разработчикам и исследователям сформулировать рекомендации по использованию подобных технологий в реальных проектах

Полученные данные могут быть полезны:

1. В образовательных платформах. Данные из настоящего исследования могут быть полезны для разработки методических рекомендаций, направленных на улучшение структуры кода в обучающих средах.

2. В системах автоматического анализа кода: полученные данные могут использоваться для улучшения статических анализаторов.

3. Для научных исследований: результаты создают основу для дальнейшего сравнения кода, написанного человеком, с кодом, сгенерированным нейросетями. Полученные в данном исследовании данные могут быть использованы для более точного анализа и классификации кода по его происхождению.

Таким образом, результаты исследования демонстрируют, что нейросетевые генераторы кода эффективны для решения простых и шаблонных задач, но при создании сложных и многоуровневых программ требуется профессиональная разработка с учётом архитектурных и концептуальных особенностей кода.

Список использованных источников:

1. Evaluating Code Readability and Legibility: An Examination of Human-centric Studies [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://arxiv.org/abs/2110.00785 – Дата доступа: 04.04.2025.

2. Between Lines of Code: Unraveling the Distinct Patterns of Machine and Human Programmers [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://arxiv.org/abs/2401.06461 – Дата доступа: 04.04.2025.

3. ChatGPT 4o vs o3-mini: OpenAI's Next-Generation AI Models [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.geeksforgeeks.org/chatgpt-4o-vs-o3-mini/ – Дата доступа: 14.04.2025.

4. Investigating the Impact of Code Comment Inconsistency on Bug Introducing [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://arxiv.org/abs/2409.10781 – Дата доступа: 04.04.2025.

5. The Impact of Code Readability on Software Maintenance efficiency in open source development [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/390151582_The_Impact_of_Code_Readability_on_Software_Maintenance_efficiency_in_open_source_developmen t – Дата доступа: 04.04.2025.

UDC 004.4

COMPARATIVE ANALYSIS OF HUMAN-WRITTEN AND AI-GENERATED SOFTWARE CODE

Zhaltko Y.Y.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Adzinets D.N. – PhD in Technical science

Annotation. The study is devoted to comparative code written by a person and generated by artificial intelligence. A comparative analysis of this type of code is performed on test data. The code length, number of comments and length of functions are analyzed.

Keywords. Artificial Intelligence, ai code analysis, function length, comments, program structure.

УДК 004.932

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПЕРАЦИЙ СВЕРТКИ НА ЦЕНТРАЛЬНОМ И ГРАФИЧЕСКОМ ПРОЦЕССОРАХ

Болашенко В.С., студент гр.250502

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Перцев Д.Ю. – канд. техн. наук

Аннотация. В данной работе проводится сравнение эффективности операций свертки изображения на центральном процессоре и на графическом процессоре с использованием технологии NVidia CUDA. Рассматриваются операторы Собеля и Превитта, фильтр Гаусса. Выполняется расчет сложности алгоритмов свертки на тестовой выборке изображений и анализ результатов.

Ключевые слова. Свертка изображения, ядро свертки, оператор Собеля, оператор Превитта, фильтр Гаусса, сепарирование, центральный процессор, графический процессор.

Свертка – это математическая операция, которая применяется для преобразования данных с помощью ядра (ядро свертки, маска свертки, фильтр свертки). Применительно к изображению формула свертки записывается следующим образом [1]:

$$(f * g)(x, y) = \sum_m \sum_n f(x - m, y - n) \cdot g(m, n), \quad (2)$$

где f – исходное изображение;
g – ядро свертки размером $M \times N$;
(x, y) – координаты пикселя изображения.

Примерами операций свертки изображения являются операторы Собеля и Превитта для выделения границ объектов (при этом используется два фиксированных ортогональных ядра размерностью 3 x 3) и фильтр Гаусса для размытия изображения.

Ядра Превитта имеют следующий вид:

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$G_y = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Классическим вариантов оператора Собеля являются следующие ядра:

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

$$G_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Данные маски по отдельности позволяют выделить края по определенным осям. Результирующее значение пикселя находится по следующей формуле [2]:

$$M(x, y) = |g_x| + |g_y|, \quad (6)$$

где $M(x, y)$ – значение пикселя в точке (x, y);
g_x – результат применения ядра G_x к пикселю (x, y);
g_y – результат применения ядра G_y к пикселю (x, y).

Фильтр Гаусса имеют матрицу произвольного нечетного размера $M \times M$ и рассчитывается по следующей формуле:

$$G_\sigma = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{\frac{-(x^2+y^2)}{2\sigma^2}}, \tag{7}$$

где σ – вещественная константа, определяющая ширину колокола;
x, y – координаты матрицы относительно ее середины.

Расчет сложность операторов Собеля и Превитта:

$$O(f * g) = O(H \cdot W \cdot M \cdot M) = O(H \cdot W \cdot 3 \cdot 3) = O(9 \cdot H \cdot W), \tag{8}$$

где H, W – размеры изображения;
M – размер ядра свертки.

Расчет сложности фильтра Гаусса:

$$O(f * g) = O(H \cdot W \cdot M \cdot M) = O(M^2 \cdot H \cdot W), \tag{9}$$

где H, W – размеры изображения;
M – размер ядра свертки фильтра Гаусса.

Для ускорения вычисления свертки изображения можно использовать сепарабельность. Сепарабельность свертки означает, что двумерное ядро можно представить как произведение двух одномерных ядер [3]. В результате сепарирования двумерная свертка (1) может выполняться как две последовательные свертки:

$$\begin{gathered}(f * g)(x, y) = \sum_m \sum_n f(x - m, y - n) \cdot g(m, n) \\ \sum_m g_x \cdot \sum_n g_y \cdot f(x - m, y - n).\end{gathered} \tag{10}$$

Двумерное ядро свертки $G(m, n)$ размером $M \times N$ является сепарабельным, если его можно выразить как:

$$G(m, n) = G_x(m) \cdot G_y(n), \tag{11}$$

где $G_x(m)$ – одномерный фильтр для горизонтальной оси;
$G_y(n)$ – одномерный фильтр для вертикальной оси.

Ядро оператора Собеля (4) можно разложить как:

$$G_x = [-1 \quad 0 \quad 1] \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix}. \tag{12}$$

Ядро оператора Превитта (2) раскладывается следующим образом:

$$G_x = [-1 \quad 0 \quad 1] \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}. \tag{13}$$

Функция Гаусса (7) раскладывается следующим образом:

$$G_\sigma = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{\frac{-x^2}{2\sigma^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{\frac{-y^2}{2\sigma^2}}. \tag{14}$$

Расчет сложности сепарированных операторов Собеля и Превитта имеет вид:

$$\begin{gathered}O(f * g) = O(H \cdot W \cdot M + H \cdot W \cdot M + H \cdot W) = \\ O(2 \cdot H \cdot W \cdot M + H \cdot W) = O(2 \cdot H \cdot W \cdot 3 + H \cdot W) = \\ O(6 \cdot H \cdot W + H \cdot W) = O(7 \cdot H \cdot W),\end{gathered} \tag{15}$$

где H, W – размеры изображения;
M – размер ядра свертки, для операторов Собеля и Превитта он равен трем.

Эффективность применения сепарированных операторов:

$$\frac{9 \cdot H \cdot W}{7 \cdot H \cdot W} = \frac{9}{7} = 1{,}28. \quad (16)$$

Расчет сложности сепарированного фильтра Гаусса:

$$O(f * g) = O(H \cdot W \cdot M + H \cdot W \cdot M) = O(2 \cdot M \cdot H \cdot W). \quad (17)$$

где H, W – размеры изображения;

M – размер ядра свертки фильтра Гаусса.

Эффективность применение сепарированного фильтра:

$$\frac{M^2 \cdot H \cdot W}{2 \cdot M \cdot H \cdot W} = \frac{M}{2}. \quad (18)$$

В таблице 1 приведен расчет эффективности для некоторых фильтров Гаусса. При этом видно, что с увеличением ядра свертки эффективность сепарирования ядра возрастает.

Таблица 1 – Расчет эффективности сепарированного фильтра Гаусса

Размер фильтра	Эффективность
3	1,5
5	2,5
7	3,5
9	4,5

В таблице 2 представлены характеристики ЭВМ, на которой проводились замеры времени обработки изображений.

Таблица 2 – Характеристики ЭВМ

Центральный процессор	AMD Ryzen 7 3750H
Размер оперативной памяти, ГБ	16
Графический процессор	NVIDIA GeForce GTX 1650

Анализ эффективности выполнялся с использованием восьми изображений с различными размерами, замеры для каждого изображения выполнялись пять раз и бралось среднее значение. Для фильтра Гаусса размер матрицы свертки равен девяти.

На рисунке 1 представлен график оценки эффективности вычислений на графическом процессоре (ГП) над центральным процессором (ЦП) в зависимости от количества пикселей изображения. Эффективность рассчитана как отношение времени выполнения на ГП к времени на ЦП.

На рисунке 2 представлен график эффективности сепарированного ядра над стандартным. Эффективность рассчитана как отношение времени выполнения свертки с сепарированным ядром к времени выполнения свертки со стандартным ядром.

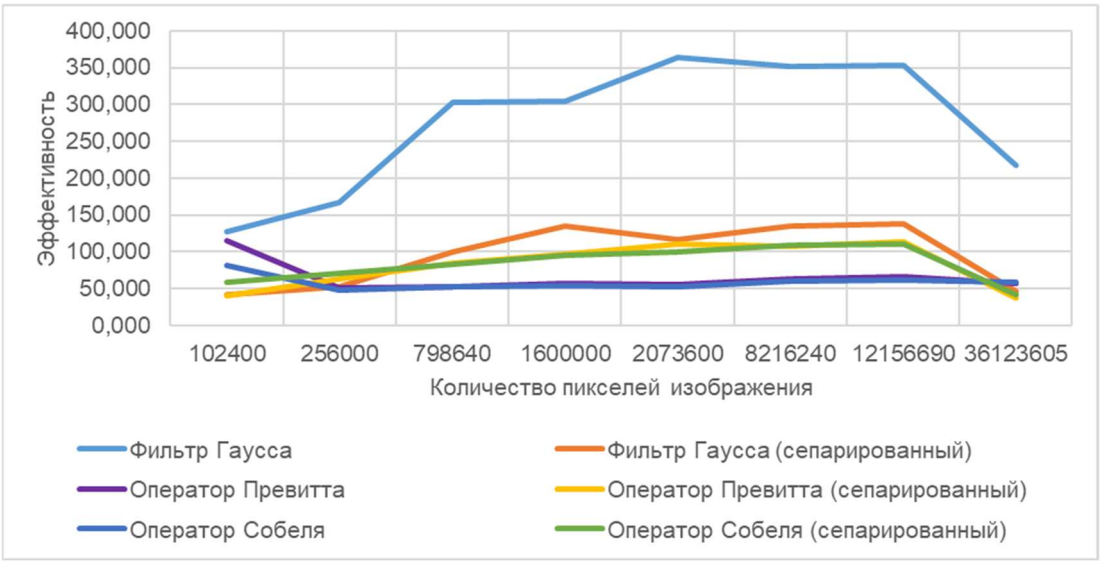


Рисунок 1 – Эффективность графического процессора над центральным процессором

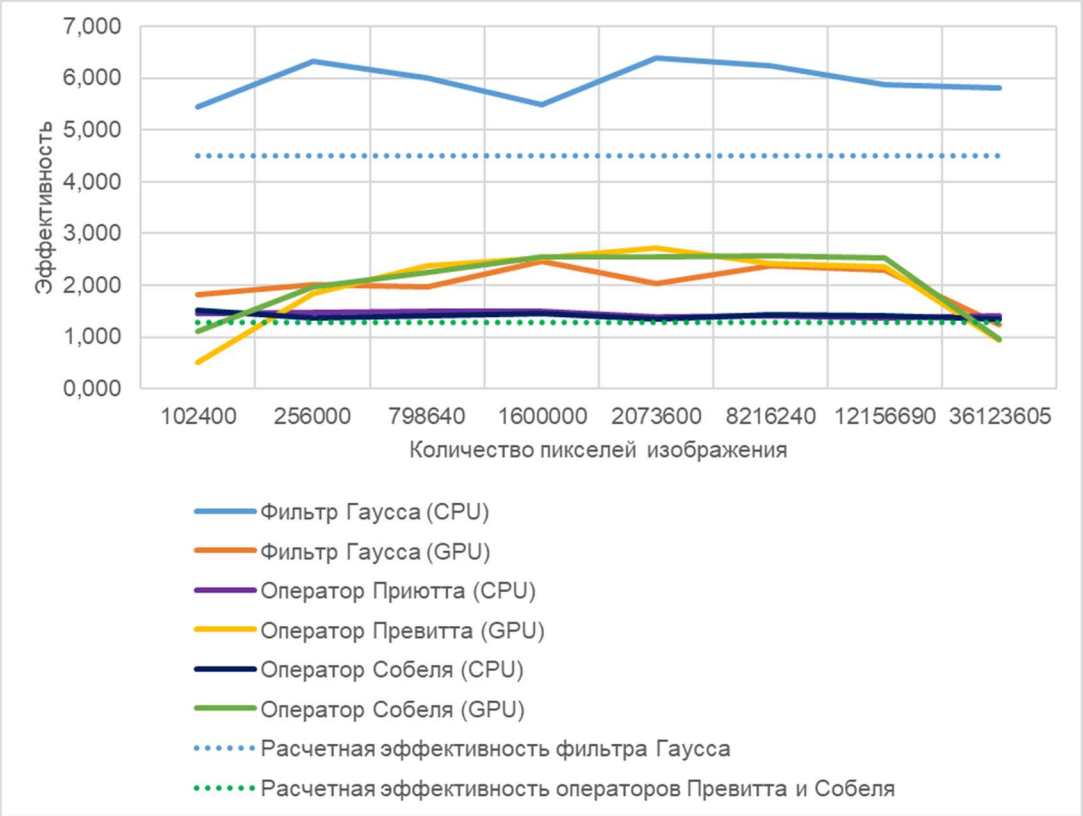


Рисунок 2 – Эффективность свертки с сепарированным ядром над стандартной сверткой

Как показано на рисунке 1, вычисления на графическом процессоре намного эффективнее (в 50-350 раз), чем вычисления на центральном процессоре. Можно наблюдать, что использование сепарированного ядра свертки на маленьком и большом изображениях менее эффективно, чем стандартное ядро. Для маленького изображения это связано с накладными расходами на запуск ядер и неоптимальным выбором блоков потоков. Для большого изображения можно выделить следующие причины: ограничение пропускной способности памяти ГП и усложнение вычислений.

На рисунке 2 видно, что эффективность сепарированных ядер Собеля и Превитта на ЦП примерно совпадает с рассчитанным ранее значением по формуле (16). На ГП эффективность операторов оказалась выше рассчитанной на всех изображениях, кроме маленького и большого. Это связано с неоптимальным выбором блока потоков для маленького изображения и ограничением пропускной способности памяти.

Сепарированный фильтр Гаусса на центральном процессоре в реальных условиях оказался эффективнее, чем было рассчитано ранее по формуле (18), чему способствовало кэширование, которое предоставляет быстрый доступ к данным. Сепарированный фильтр Гаусса на графическом процессоре дает незначительный прирост скорости, однако на большом изображении эффективность снижается по той же причине, что и с операторами выделения краев.

Таким образом, можно сделать вывод, что перенос обработки изображения на графический процессор во много раз ускоряет процесс, что позволяет реализовать обработку потокового видео. Однако реализация вычислений на графическом процессоре является более сложной, чем на центральном процессоре, так как требует от разработчиков специализированных знаний и опыта. При реализации вычислений на ЦП сепарирование ядер свертки дает значительный прирост в скорости обработки изображения с применением свертки.

Список использованных источников:

1. Старовойтов, В.В. Получение и обработка изображений на ЭВМ : учеб.-метод. пособие / В.В. Старовойтов, Ю.И. Голуб. – Минск : БНТУ, 2018. – 204 с.

2. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – Изд. 3-е. – М. : Техносфера, 2012. – 1104 с.

3. Gonzalez, R.C. Digital image processing / R.C. Gonzalez, R.E. Woods. – 4-th edition. – New York : Pearson, 2017 – 1019 p.

UDC 004.932

COMPARISON OF THE EFFICIENCY OF CONVOLUTION OPERATIONS ON CENTRAL AND GRAPHICS PROCESSORS

Balashenka V.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Pertsau D. Y. – PhD in Technical Science

Annotation. This paper compares the efficiency of image convolution operations on a CPU and on a GPU using NVidia CUDA technology. Sobel and Prewitt operators and Gaussian filter are considered. The complexity of convolution algorithms is calculated on a test sample of images and the results are analyzed.

Keywords. Image convolution, convolution kernel, Sobel operator, Prewitt operator, Gaussian filter, separation, CPU, GPU.

УДК 004.032.26, 004.932.4

УВЕЛИЧЕНИЕ РАЗРЕШЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Гаращук Н.В., студент гр.150501

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Перцев Д.Ю. – кандидат технических наук

Аннотация. В статье рассматриваются особенности и структура современной нейросетевой архитектуры SRGAN, предназначенной для увеличения разрешения изображений. Подробно описаны ключевые компоненты модели, включая генератор и дискриминатор, а также функции потерь, используемые в процессе обучения.

Ключевые слова. SRGAN, генеративно-состязательные сети, увеличение разрешения изображений, бикубическая интерполяция, ImageNet, PSNR, SSIM.

Введение. Современный мир характеризуется стремительным развитием цифровых технологий, где визуальный контент играет ключевую роль в различных сферах жизни: от дизайна до научных исследований и медицинской визуализации. Высокое качество изображений – ключевое требование в современном мире, однако значительная часть существующих визуальных материалов имеет низкое разрешение, что существенно ограничивает их практическое применение. Традиционные методы увеличения разрешения, например, бикубическая интерполяция, часто не обеспечивают достаточной детализации и естественности результата, что создает необходимость в разработке более совершенных подходов.

Нейронные сети, в частности генеративно-состязательные архитектуры (Generative Adversarial Network, GAN), открывают новые возможности в области обработки изображений. Модель SRGAN (Super-Resolution Generative Adversarial Network) демонстрирует значительный потенциал для повышения разрешения с сохранением текстуры и деталей, что делает её перспективным инструментом для решения проблемы.

Архитектура генеративно-состязательной нейронной сети SRGAN. SRGAN [1] – это архитектура, основанная на генеративно-состязательных сетях, предназначенная для увеличения разрешения изображений с сохранением высокого качества. Она состоит из двух основных компонентов: генератора и детектора, которые обучаются в состязательной манере.

Генератор в SRGAN отвечает за преобразование изображения в низком разрешении (Low Resolution, LR) в высокое (High Resolution, HR). Его архитектура включает следующие ключевые элементы:

1. Входной слой принимает LR-изображение и применяет свертку с ядром 9×9 для извлечения низкоуровневых признаков.
2. Сверточные блоки (16 элементов) образуют основной компонент генератора. Каждый блок содержит сверточные слои с ядром 3×3.
3. Пакетная нормализация (Batch Normalization, BN) используется в каждом сверточном блоке для стабилизации обучения.
4. Функция активации PReLU (Parametric Rectified Linear Unit), параметрический выпрямленный линейный блок) с параметром α=0.2 применяется после сверточных слоев.
5. Skip-соединения добавлены между блоками для предотвращения затухания градиентов.
6. Слои повышающей субдискретизации увеличивают разрешение изображения с помощью PixelShuffle (перестановка пикселей) масштаб ×2.
7. Выходной слой выполняет финальную свертку 9×9 и использует tanh-активацию (гиперболический тангенс) для ограничения значений пикселей в [-1, 1].

Детектор в SRGAN играет роль классификатора, который отличает сгенерированные изображения (SR, Super Resolution) от изображений с HR-изображением. Его архитектура включает следующие элементы:

1. Входной слой принимает HR-изображения или SR-изображение и применяет свертку с ядром 3×3 для извлечения признаков.
2. Сверточные блоки дискриминатора содержат сверточные слои с ядром 3×3, слои BN и функцию активации LeakyReLU (Rectified Linear Unit с утечкой) с коэффициентом наклона α=0.2 для отрицательных значений.
3. Полносвязные слои дискриминатора выполняют классификацию изображений на «реальные» или «сгенерированные» с использованием сигмоидальной функции активации (Sigmoid), дающей вероятность в диапазоне [0, 1].

Функция потерь дискриминатора использует бинарную перекрестную энтропию (Binary Cross-Entropy, BCE) для обучения модели отличать настоящие изображения от сгенерированных.

Обучение SRGAN основано на комбинации следующих функций потерь:

1. Воспринимаемая потеря (Perceptual loss). Эта потеря измеряет разницу между сгенерированным и реальным изображением в пространстве признаков, извлеченных из предобученной сети VGG-19. Она фокусируется на восстановлении высокоуровневых деталей. Данная функция потерь описывается формулой:

$$L_{content} = \sum_{i \in S} (\varphi_i[I^{SR}] - \varphi_i[I^{HR}])^2, \quad (1)$$

где $\varphi_i[I^{SR}]$ – признаки, извлеченные из *i*-го слоя сети VGG для сгенерированного изображения I^{SR};

$\varphi_i[I^{HR}]$ – признаки, извлеченные из *i*-го слоя сети VGG для сгенерированного изображения I^{HR};

S – набор слоев VGG (в текущей реализации 8, 17, 26, 35 слои).

2. Состязательная потеря (Adversarial loss). Она побуждает генератор создавать изображения, которые детектор не сможет отличить от реальных. Используется для обучения генератора в рамках «состязания».

Состязательная потеря для генератора описывается формулой:

$$L_{adv} = -E_{I^{SR}}[logD(I^{SR})], \quad (2)$$

где $D(I^{SR})$ – вероятность, что детектор классифицирует сгенерированное изображение I^{SR} как реальное.

Состязательная потеря для детектора описывается формулой:

$$L_{disc} = -E_{I^{HR}}[log\ (D(I^{HR})] - E_{I^{SR}} \quad (3)$$

где $D(I^{HR})$ – вероятность, что детектор классифицирует реальное изображение I^{HR} как реальное;

$D(I^{SR})$ – вероятность, что детектор классифицирует сгенерированное изображение I^{SR} как реальное.

3. Комбинированная потеря. Для обучения генератора используется комбинированная функция потерь, состоящая из состязательной и перцептивной потерь, и описывается формулой:

$$L_{gen} = L_{content} + \lambda \cdot L_{adv}, \quad (4)$$

где $L_{content}$ – перцептивная потеря;

L_{adv} – состязательная потеря;

λ – коэффициент, определяющий вес состязательной потери (в работе принят равным 10^{-3}).

Полная структура нейронной сети представлена на рисунок 1.

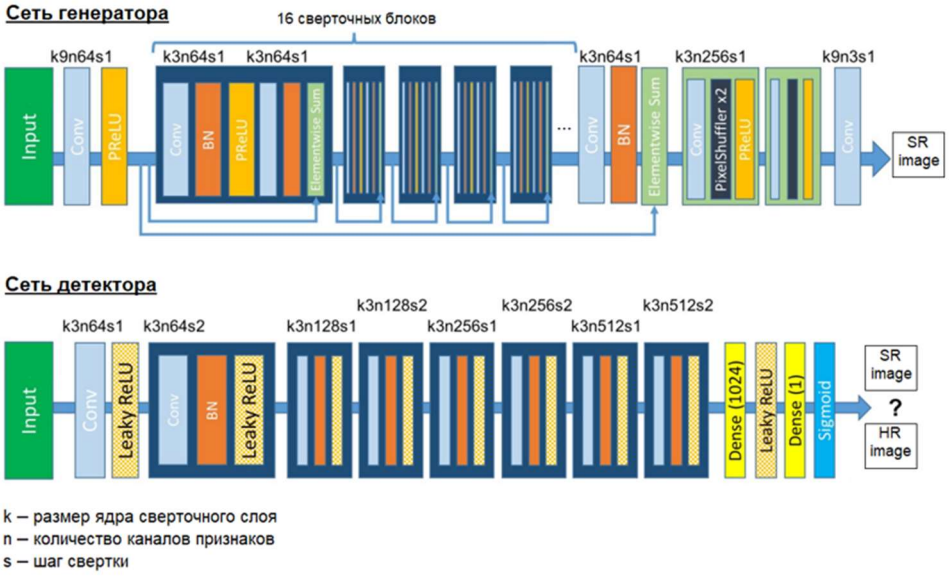


Рисунок 1 – Полная структура нейронной сети SRGAN

Описание тестовых данных. Для обучения, валидации и тестирования выбран набор данных ImageNet [2], представляющий собой большую базу изображений, содержащую более 14 миллионов изображений в разных классах (всего 1000 классов по состоянию на 2025 год). В работе были выделены следующие подмножества:

– обучающая выборка: 100 тысяч изображений высокого разрешения (к высокому разрешению отнесены изображения с разрешением 512×512 пикселей и выше);

– валидационная выборка: 10 тысяч изображений для оценки обучения модели во время обучения;

– тестовая выборка: 1000 изображений, не участвовавших в обучении, для итоговой оценки модели.

Для обучения модели выполняется предварительная обработка данных. Сначала из исходного изображения случайным образом вырезается квадратная область размером 96×96 пикселей, значения интенсивности которой нормализуются в диапазоне от -1 до 1. Эта область рассматривается как HR-изображение. Затем HR-изображение масштабируется в 4 раза с помощью бикубической интерполяции до размера 24×24 пикселя, формируя LR-изображение. Для расширения вариативности обучающей выборки к полученным HR и LR изображениям применяются аугментационные преобразования, включающие случайные горизонтальные отражения, зеркальные преобразования и повороты.

Для оценки результатов на тестовых данных использовались следующие метрики:

1. Пиковое отношение сигнала к шуму (Peak Signal-To-Noise Ratio, PSNR) [3]:

$$PSNR = 10 * log_{10}\left(\frac{MAX^2}{MSE}\right), \quad (5)$$

где MAX – максимальное значение пикселя (например, 255 для 8-битных изображений);

MSE – средняя квадратичная ошибка (Mean Squared Error, MSE) между сгенерированным и эталонным изображением.

2. Индекс структурного сходства (Structure Similarity , SSIM) [4]:

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)}, \quad (6)$$

где μ_x, μ_y – средние значения яркости изображений;

σ_x^2, σ_y^2 – дисперсии яркости;

σ_{xy}– ковариация между изображениями;

C_1, C_2 – константы для стабилизации.

Результаты работы. Тестовое изображение было обработано нейросетью SRGAN и алгоритмом билинейной интерполяции, что показано на рисунке 2. SRGAN эффективно восстанавливает мелкие детали (например, текстуру шерсти или элементы ландшафта), которые при билинейной интерполяции размываются.



а) *б)* *в)*

Рисунок 2 – Примеры увеличения разрешения: *а* – исходное изображение; *б* – алгоритм билинейной интерполяции; *в* – обработка нейросетью SRGAN

В таблице 1 приведены метрики обучения SRGAN и метрики билинейной интерполяции.

Таблица 1. Метрики сравнения алгоритмов увеличения разрешения изображения

Метрика	SRGAN	Билинейная интерполяция
PSNR, дБ	26.55	22.31
SSIM	0.79	0.64

По метрике PSNR (26.55 дБ против 22.31 дБ) SRGAN показывает улучшение на 4.24 дБ, что свидетельствует о более точном восстановлении пиксельных значений и меньшем уровне шумов. Для задач, требующих высокой точности (например, медицинская визуализация или спутниковые снимки), такое превышение является критически важным. Метрика SSIM (0.79 против 0.64) подтверждает, что SRGAN лучше сохраняет структурную целостность и естественность текстуры изображения. Значение выше 0.75 (для SRGAN) указывает на высокую визуальную корректность, тогда как результат билинейной интерполяции (0.64) попадает в зону «умеренного качества».

Ограничения при использовании SRGAN:

– SRGAN требует больше вычислительных ресурсов для обучения и использования;

– на некоторых типах изображений (например, с резкими геометрическими паттернами) возможны искажения.

SRGAN предпочтителен для задач, где важна детализация, в то время как билинейная интерполяция может использоваться для быстрой обработки, когда качество не приоритетно.

Заключение. Основной проблемой при проектировании систем увеличения разрешения изображений является необходимость баланса между качеством восстановления и вычислительной сложностью. Традиционные методы, такие как бикубическая интерполяция, хотя и менее ресурсоемки, уступают по качеству нейронным сетям, таким как SRGAN. Последние демонстрируют высокую эффективность в восстановлении деталей и текстуры изображений, что подтверждается метриками PSNR и SSIM. Однако использование SRGAN требует значительных вычислительных ресурсов, что может ограничивать их применение в реальных условиях. Таким образом, дальнейшие исследования должны быть направлены на оптимизацию архитектуры нейронных сетей для снижения их вычислительной сложности без потери качества результатов.

Список использованных источников:

1.Photo-Realistic Single Image Super-Resolution Using a Generative Adversarial Network [Электронный ресурс] – Электронные данные. – Режим доступа: https://arxiv.org/pdf/1609.04802 – Дата доступа: 22.02.2025

2. ImageNet [Электронный ресурс] – Электронные данные. – Режим доступа: https://paperswithcode.com/dataset/imagenet – Дата доступа: 22.02.2025

3. Ilustration-of-the-PSNR-measure [Электронный ресурс] – Электронные данные. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/figure/Ilustration-of-the-PSNR-measure_fig6_268807675 – Дата доступа: 22.02.2025

4. Measure the Similarity Between Images [Электронный ресурс] – Электронные данные. – Режим доступа: https://medium.com/@datamonsters/a-quick-overview-of-methods-to-measure-the-similarity-between-images-f907166694ee – Дата доступа: 22.02.2025

UDC 004.032.26, 004.932.4

IMAGE RESOLUTION ENHANCEMENT BASED ON NEURAL NETWORKS

Garashchuk N.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Pertsau D.Y. – PhD of Technical Sciences

Annotation. The article examines the features and structure of the modern neural network architecture SRGAN, designed for image resolution enhancement. The key components of the model, including the generator and discriminator, as well as the loss functions used during training, are described in detail.

Keywords: SRGAN, generative-adversarial networks, image resolution enhancement, bicubic interpolation, ImageNet, PSNR, SSIM.

ГЕНЕРАТОР БЛОК-СХЕМЫ АЛГОРИТМА НА ОСНОВЕ ИСХОДНОГО КОДА

Буринский Н.А., студент гр.458304

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Ковшер Е.И. – ассистент

В тезисе описывается программное обеспечение в виде расширения для MS Visio, предназначенное для автоматизированного построения блок-схем алгоритмов на основе исходного кода на языке C. Рассматриваются этапы преобразования кода: разбиение на токены, обработка команд, разделение на зоны видимости и генерация схемы. Анализируется работа алгоритма, включая рекурсивную обработку вложенных зон и стилизацию результата. Приводятся примеры работы программы на тестовом образце кода.

Современная разработка программного обеспечения требует наглядного представления алгоритмов для их анализа, отладки и документирования кода. Блок-схемы остаются одним из эффективных способов визуализации логики программы, однако их ручное построение является трудоемким и часто приводит к ошибкам. Вследствие этого было разработано программное решение, автоматически преобразующее исходный код в блок-схемы алгоритмов. Предложенный подход значительно упрощает процесс анализа программной логики и снижает вероятность некорректной интерпретации сложных управляющих конструкций.

Предложенное программное обеспечение выполняет генерацию блок-схемы алгоритма на основе исходного кода на языке C [1] и реализовано в качестве расширения для MS Visio [2]. Данный подход позволяет сразу после генерации перейти к редактированию результата. Процесс преобразования исходного кода алгоритма состоит из нескольких основных этапов:

1. Разбиение и классификация текстового кода на команды/токены.
2. Постобработка полученного массива команд.
3. Разбиение кода на зоны, соответствующие областям видимости, формируемым управляющими конструкциями (if, switch, while).
4. Генерация схемы зон с рекурсивной обработкой вложенных зон и созданием объектов схемы в зависимости от типа команд.
5. Постобработка и стилизация результирующей схемы.

Список типов команд содержит не только алгоритмические команды, необходимые пользователю, такие как ввод, вывод и вызов внешней функции, но и внутренние токены, которые обеспечивают корректную работу программы, например, токены открытия и закрытия зон областей видимости. Присвоение типа команде начинается со сравнения её с базой определенных команд, которая при необходимости может быть расширена пользователем. Если поиск команды не дал результата, но при этом выполняются несколько требований к команде, ей может быть присвоен тип действия или внешней функции; в противном случае она отбрасывается.

Постобработка массива команд включает:

1. Обработка необычных конструкций языка с приведением их к более стандартному виду, например, добавление токенов открытия и закрытия области видимости ветвления, если соответствующие токены явно выделены не были.
2. Объединение нескольких последовательных команд одного типа в одну, например, при последовательном вызове нескольких операций вывода текста в консоль. С точки зрения алгоритма, эти операции могут рассматриваться как один общий вывод.
3. Обработка текстового представления каждой команды, удаление пробельных символов, возможная обрезка текста.

Генерация схемы происходит через рекурсивный вызов обработчиков зон и генераторов объектов в зависимости от обрабатываемых команд. Команды считываются из списка последовательно и, при достижении команды, открывающей зону (ветвление, цикл и т.д.), в зависимости от ее типа запускается соответствующий обработчик этой зоны, Он, в свою очередь, обрабатывает особенности данной зоны, создает команды и вызывает обработчики для вложенных зон. Большинство команд и обработчиков при создании также запускает установку связей между объектами команд, вследствие которой будет также создан и настроен объект соединения.

В процессе генерации схемы также производится запись ссылок на все объекты в списки по различным параметрам, таким как тип команды, тип фигуры объекта, области видимости, в которой находится команда и т.д. Данная информация будет также использована при стилизации и постобработке результирующей схемы. Примеры результата генерации схемы, а также окна ввода программы с тестовым образцом кода представлены соответственно на рисунках 1 и 2.

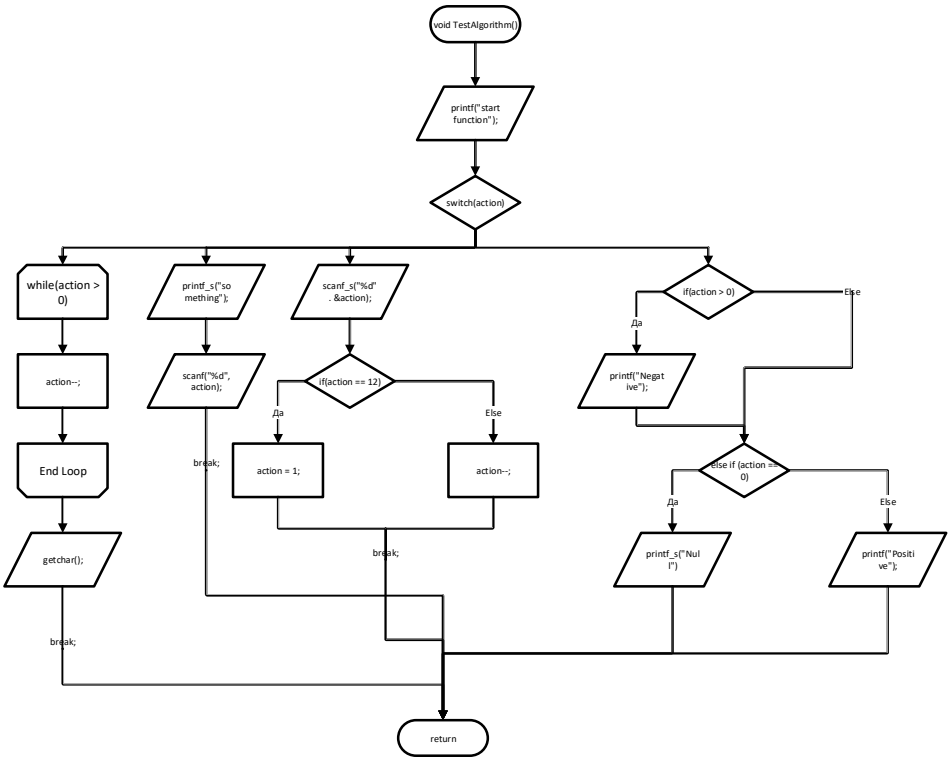


Рисунок 1 – Пример результата генерации

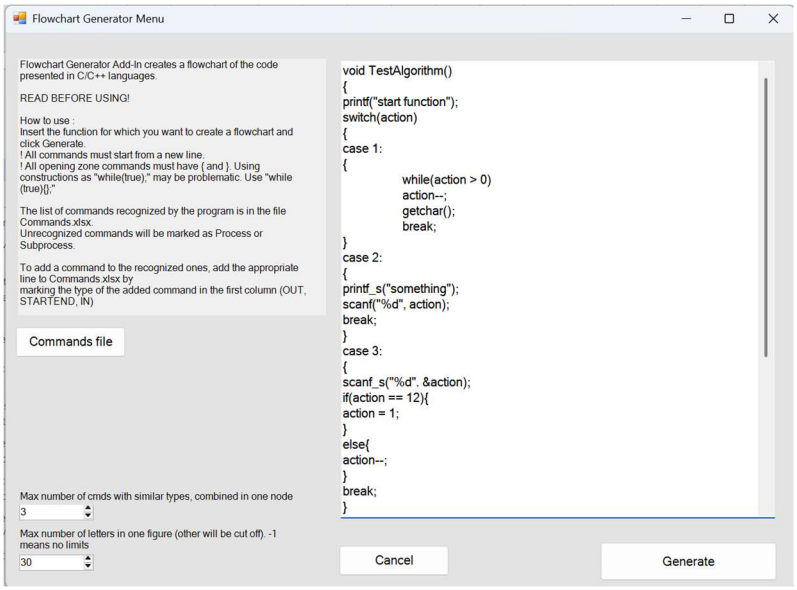


Рисунок 2 – Пример окна ввода программы

Текстовое поле содержит код, на основе которого будет сгенерирована схема. В левой части окна располагаются поля для настройки некоторых параметров стилизации, а также кнопка открытия файла, содержащего информацию об известных программе командах.

Разработанное программное обеспечение значительно ускоряет процесс визуализации алгоритмов в виде блок-схем, что особенно важно в условиях высокой трудоемкости их ручного проектирования. Предлагаемый инструмент обладает большим потенциалом для применения в образовательной сфере и может быть эффективно использован для анализа и рефакторинга программного кода.

Список использованных источников

1. C/C++ [Электронный ресурс] // Microsoft Docs. – 2024. – Режим доступа: https://learn.microsoft.com/ru-ru/cpp/?view=msvc-170 (дата доступа: 28.10.2024).

2. Надстройки VSTO для MS Visio [Электронный ресурс] // Microsoft Docs. – 2024. – Режим доступа:https://learn.microsoft.com/ru-ru/visualstudio/vsto/visio-solutions?view=vs-2022 (дата доступа: 24.11.2024).

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ РЛС

Клинцевич Е.Е., магистрант гр. 355841

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Одинец Д.Н. – доцент, канд. технических наук

Рассматриваются общие принципы построения современных РЛС и её основные элементы. Обсуждаются особенности системы управления РЛС.

В настоящее время ввиду развития нейронных сетей и искусственного интеллекта (ИИ) особенно актуальной задачей является построение современной радиолокационной системы (РЛС). Состав элементов РЛС зависит от назначения системы и задач, которые она должна решать. В общем случае выделяют шесть основных элементов типовой РЛС, которые будут иметь место вне зависимости от принципов ее построения, – передатчик, приемник, антенная система, антенный переключатель, система управления и синхронизации, система обработки [1].

Передатчик РЛС необходим для формирования зондирующего радиосигнала, усиления его до требуемого уровня мощности и передачи в антенную систему (антенну). Антенна в импульсном радиолокаторе предназначена для работы как на передачу (режим излучения зондирующего сигнала), так и на прием (режим приема сигнала, отраженного от цели). В режиме передачи антенна обеспечивает преобразование зондирующего радиосигнала, поступившего от передатчика, в радиоволну и излучение зондирующего колебания в направлении на цель. В режиме приема антенна обеспечивает преобразование отраженной от цели радиоволны в радиосигнал с последующей передачей его в приемник. Переключение антенны из режима излучения в режим приема обеспечивается с помощью антенного переключателя, который управляется сигналами системы управления и синхронизации. Приемник РЛС нужен для предварительного преобразования принятого сигнала. После этого в приемнике сигнал поступает в систему обработки, в которой решаются задачи по выделению из принятого сигнала информации о цели. Система обработки в современных РЛС представляет собой цифровую вычислительную систему, подобную обычному компьютеру или их совокупности.

Алгоритмы, закладываемые в систему обработки сигнала в РЛС, определяют ее возможности и качество решения задач радиолокационного приема радиолокатором. Система обработки определяет «интеллект» РЛС [2]. Современные технологии позволяют создавать технические системы, например, роботов, обладающих ИИ. Современный уровень разработки алгоритмов в РЛС таков, что термин «искусственный интеллект» вполне применим и к современным радиолокаторам.

Управление элементами РЛС осуществляется системой управления и синхронизации. Эта система является так называемым диспетчером, который обеспечивает:

– своевременное переключение каналов передачи и приема сигналов для формирования зондирующих колебаний в направлении на цель и обеспечения приема отраженных от нее сигналов;

– синхронную работу (синхронизацию) во времени всех элементов РЛС путем формирования специальных синхронизирующих сигналов и выделения необходимых временных интервалов на выполнение той или иной процедуры в ходе формирования зондирующих сигналов и обработки отраженных сигналов от цели;

– формирование специальных сигналов и опорных колебаний для обеспечения работы передающих и приемных каналов РЛС;

– управление системой обработки в целях своевременного включения в работу каналов (алгоритмов), обеспечивающих решение задач обнаружения и измерения координат и параметров движения целей, распознавания целей, а также формирования радиолокационного изображения;

– управление параметрами режимов излучения и приема РЛС в целях создания условий для обеспечения высокого качества решения текущей задачи радиолокационного наблюдения.

Таким образом, современная РЛС является сложным техническим устройством, при реализации которого используются все современные технологии, которые касаются как конструктивного исполнения элементов радиолокатора, так и его программного обеспечения. Искусственный интеллект, реализованный в программном обеспечении радиолокационной системы, предоставляет возможности по обнаружению и сопровождению целей, что определяет качество решения возлагаемых на РЛС задач.

Список использованных источников:

1. Радиолокационные системы: как они работают и где применяются? [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: https://www.karneev.com/stati/radiolokatsionnye-sistemy/ – Дата доступа: 10.05.2025.

2. Радиолокация для всех: учеб. пособие / под ред. В.С. Вербы. – Москва.: Техносфера, 2024. – 560с.

ОРГАНИЗАЦИЯ МИКРОСЕРВИСНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ПЛАТЕЖНОЙ-ФИНАНСОВОЙ СИСТЕМЫ

Горбачевский М.В., Горбачевский К.В., студенты гр. 150504

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Куприянова Д.В. – ст. преподаватель

В данной работе рассматривается разработка микросервисного приложения, описываются основные аспекты реализации и анализируется использование микросервисов в платежно-финансовых системах.

Данная работа представляет собой разработку кабинета пользователя платежно-финансовой системы, состоящего из связанных сервисов. Каждый сервис предоставляет собственный API и может работать отдельно от других. Сервисы обмениваются информацией через брокера сообщений [1] – механизм асинхронного взаимодействия, основанный на посылке сообщений.

Если один из сервисов по какой-то причине перестанет функционировать, например, у него пропадет сеть, очередь продолжит хранить сообщения и, когда сервис вновь заработает, он обработает очередь. В такой парадигме сервисы не знают о существовании друг друга, они получают входные данные из брокера, изменяют свое состояние, генерируют выходные данные и отправляют их назад, схема взаимодействия изображена на рисунке 1. Такой подход обеспечивает минимальную связанность системы, что позволяет быстро вносить новый функционал.

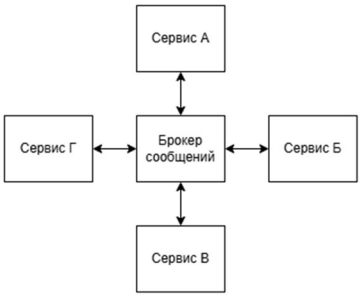


Рисунок 1 – Схема взаимодействия сервисов через посредника в виде брокера сообщений

Разделение сервисов позволяет реализовывать их на разных технологиях, использовать в них различные хранилища и располагать на разных машинах. Также это позволяет делить разработку и поддержку сервисов между разными командами, которые будут минимально зависеть друг от друга. Все это дает преимущества как бизнесу, чьи требования выполняются в срок, так и конечному клиенту, который быстро получает обновления.

В большинстве случаев, любое событие в системе затрагивает несколько сервисов, а значит необходимо как-то обеспечить атомарность операций, то есть система должна обладать транзакционными свойствами, в системе с множеством сервисов, такая транзакционность называется распределенной. Для решения данной задачи предложено использование алгоритмов типа Saga [2]. Суть этих алгоритмов заключается в том, что каждый сервис кроме непосредственного обработчика события, реализует еще и алгоритм его отката, таким образом, при конвейерной обработке события, ошибка на определенном этапе приведет к откату всех предыдущих.

В платежно-финансовых системах, например, в биржах, обычно существует множество разных по характеру возможностей, начиная от создания транзакций и просмотра котировок, заканчивая чатом с другими пользователями, также, например, платежи совершаются при помощи разных платежных систем и все это является причиной использования микросервисов. Использование микросервисной архитектуры позволит сделать систему более надежной, когда выход из строя одного сервиса не повлияет на работу других.

Использование сервисов под отдельные задачи в данной работе позволило отвязаться от языка программирования и СУБД, все сервисы могут быть реализованы на разных языках и хранить данные в разных СУБД.

Список использованных источников:

1. RabbitMQ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rabbitmq.com/. – Дата доступа: 07.04.2025.

2. Паттерн Сага [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://habr.com/ru/articles/427705/. – Дата доступа: 07.04.2025.

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС «ФОТОКАМЕРА МГНОВЕННОЙ ПЕЧАТИ С АДАПТИВНОЙ ОБРАБОТКОЙ ИСХОДНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ»

Ледохович Т.Т., студент гр. 150503

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Луцик Ю.А. – канд. технических наук, доцент

В данной работе представлены ключевые технические концепции и аспекты разработки программно-аппаратного комплекса, предназначенного для фотосъемки с мгновенной печатью стандартизированных временных удостоверений личности.

В организациях, где предусмотрен многократный вход или поэтапная система контроля, нередко используются собственные временные удостоверения личности – пропуска, билеты или абонементы с фотографией. Эти документы оформляются при первичной регистрации и в дальнейшем позволяют быстро идентифицировать посетителя. Для надежной визуальной идентификации требуется изображение, соответствующее ряду формальных критериев: потрет анфас, светлый фон, стандартный размер. Получение такой фотографии во внестудийных условиях предполагает использование камеры, устройства печати, а также дополнительных фоторедакторов.

Предлагаемый программно-аппаратный комплекс представляет собой автономное решение, в котором объединены функции захвата изображения, его адаптивной обработки и мгновенной термопечати. Устройство может использоваться в различных сценариях освещения и сценах для формирования на физическом носителе портрета формата 3:4 на белом фоне, пригодного для использования в качестве средства идентификации, который может быть дополнен служебной информацией по запросу заказчика.

Управление работой устройства и обработка изображений осуществляется на базе одноплатного компьютера Raspberry Pi Zero 2 W [1], который выполняет функции центрального вычислительного модуля. На его стороне реализованы алгоритмы анализа и обработки изображения, взаимодействие с периферийными устройствами и компонентами. Для захвата цветного изображения используется модуль камеры Caturda PI Camera Zero, подключаемый к CSI-интерфейсу Raspberry Pi. Для вывода результата используется термопринтер с шириной печатающей головки 58 мм. Он состоит из управляющей платы и печатающего узла, подключается к Raspberry Pi с использованием UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter).

Программное обеспечение комплекса реализует полный цикл обработки изображения и подготовки его к печати. Все этапы строго упорядочены, что обеспечивает устойчивость результата. После захвата изображения выполняется его предобработка, направленная на стабилизацию его основных визуальных характеристик. Для этого используются: перцентильная оценка яркости, гамма-коррекция, коррекция контрастности в цветовом пространстве CIELab (International Commission on Illumination L*a*b*), метод нерезкой маски, оператор Лапласа и адаптивный edge-preserving фильтр. Затем выполняется распознавание всех лиц с помощью модели MediaPipe [2] BlazeFace. Лицо того человека, который с наибольшей вероятностью был объектом съемки, выбирается по совокупной оценке площади и симметрии лица, его положения относительно центра кадра, значения уверенности используемой модели. На основе координат выбранного лица формируется прямоугольная область кадрирования с соотношением сторон 3:4, в которой лицо человека занимает не менее 50% площади изображения. Для замены фона используется модель MediaPipe Selfie Segmentation. Повышение качества маски осуществляется с применением бинаризации, размытия по Гауссу и морфологических операций. В качестве цвета фона используется белый. Итоговое изображение масштабируется под ширину печатающей головки, переводится в черно-белый вид, после чего к нему применяется алгоритм дизеринга Флойда–Стейнберга для имитации полутонов. Подготовленное изображение преобразуется в массив байтов и передается по интерфейсу UART на печать, которая начинается незамедлительно.

Данная разработка решает задачу быстрого получения фотографий, пригодных для идентификации личности. Компоненты устройства взаимодействуют посредством стандартных интерфейсов и могут быть заменены аналогичными. Управляющая программа обладает гибкой архитектурой и предусматривает возможность адаптации под требования заказчика.

Список использованных источников:

1. Raspberry Pi Zero 2 W Datasheet [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: https://datasheets.raspberrypi.com/rpizero2/raspberry-pi-zero-2-w-product-brief.pdf – Дата доступа: 20.03.2025.

2. MediaPipe [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: https://developers.google.com/mediapipe – Дата доступа: 20.03.2025.

РЕАЛИЗАЦИЯ ПЛИС НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ATMEGA328

Голов А.С., Лагутик Р.Ю., студенты гр. 458304

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Ковшер Е.И. – ассистент

Представлена реализация программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС) на основе микроконтроллера ATMega. Система предназначена для изучения булевых функций и анализа логических схем. Рассматриваются методы задания и обработки булевых функций, а также их интерпретация микроконтроллером. Разработано программное обеспечение для взаимодействия с устройством, позволяющее визуализировать работу логических схем в реальном времени.

В настоящее время в цифровых устройствах широко используются программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС), что требует разработки доступных и гибких решений, позволяющих пользователям реализовывать логические функции без использования специализированного оборудования. В условиях активного развития технологий автоматизированного проектирования и цифровых систем, поиск экономичных и удобных способов реализации логики становится особенно актуальным. Одним из возможных подходов является программная эмуляция ПЛИС на базе микроконтроллеров, таких как ATMega. Такой метод дает возможность значительно снизить затраты на разработку логических устройств, повысить гибкость их настройки, а также облегчить интеграцию в более сложные системы.

В данной работе представлена система, позволяющая формировать логические схемы на основе заданных пользователем булевых выражений в виде СДНФ или СКНФ. Эта система обеспечивает динамическое управление выходами устройства в зависимости от входных состояний, поступающих на плату, что в свою очередь дает возможность программной реализации логики на микроконтроллере. Это особенно актуально для образовательных проектов, где важно изучение принципов цифровой логики без необходимости использования дорогостоящего оборудования.

Для реализации устройства используется микроконтроллер ATMega328 на отладочной плате Arduino UNO (см. рисунок 1), который обеспечивает необходимую вычислительную мощность для обработки логических функций. Взаимодействие с пользователем происходит в виде задания булевых функций через COM-порт. Такой процесс делает систему гибкой, удобной для работы с различными логическими структурами и расширяемой для будущих версий.



Рисунок 1 — Отладочная плата Arduino UNO

Задание булевых функций. Пользователь должен ввести булеву функцию вида `[ТИП];[ФУНКЦИЯ]`, где `[ТИП]` означает выбор между СКНФ и СДНФ функции, а `[ФУНКЦИЯ]` содержит саму булеву функцию, которую будет исполнять микроконтроллер. Для выбора типа функции пользователю следует ввести команду SDNF или SKNF. Затем через символ "`;`", программа ожидает ввода функции. Стоит учесть, что все термы друг от друга должны быть изолированы скобками. Операция логического НЕ задается символом "`!`", операции логического ИЛИ и И — символами "`|`" и "`&`" соответственно. Для сброса введенных функций пользователю необходимо ввести команду "`SBROS`", после чего будет предложено ввести функции заново.

Выполнение функций. В данной версии устройства, на вход микроконтроллера могут поступать на вход и выход только четыре сигнала (см. рисунок 2).

После задания функций устройство начинает свою работу. Входные сигналы считываются и результат каждой функции в зависимости от исходных данных поступает на выход ПЛИС.

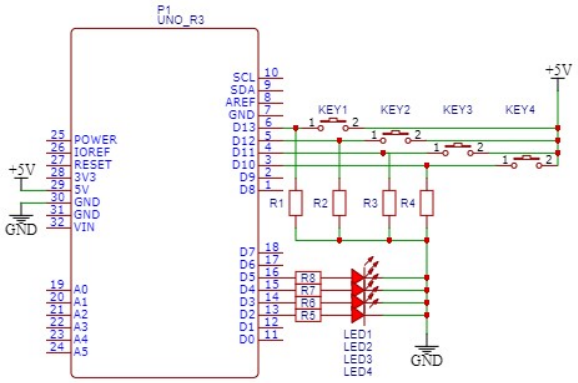


Рисунок 2 — Принципиальная схема устройства ПЛИС

При реализации ПЛИС одной из проблем является создание парсера булевых выражений для их верификации и последующей обработки. Алгоритм преобразования функций из строки в выражение, понятное микроконтроллеру, включает несколько ключевых этапов:

1. Разделение строки на тип и выражение: первоначально строка должна быть разделена на два компонента: тип функции (СДНФ или СКНФ) и сама логическая функция. Проверяется первая часть строки на наличие ключевых слов "СДНФ" или "СКНФ", а оставшаяся часть строки используется как логическое выражение для дальнейшей обработки.

2. Определение структуры: для СДНФ термы разделяются через символ “|”, а литералы внутри термов — через символ “&”. Для СКНФ термы разделяются через символ “&”, а литералы внутри термов — через символ “|”.

3. Разбиение на термы: для СДНФ разделение происходит по символу “|”, для СКНФ по символу “&”.

4. Разбор термов на литералы: для СДНФ: внутри каждого терма литералы разделяются символом “&”. Для СКНФ внутри каждого терма литералы разделяются символом “|”. Для каждого литерала нужно определить, является ли он инвертированным. Если литерал начинается с символа “!”, то это указывает на инверсию.

5. Проверка ошибок: баланс скобок: необходимо проверить, что в выражении правильно расставлены открывающие и закрывающие скобки. Переменные должны быть в пределах допустимых символов (“a” до “d”). При иных символах устройство выдает ошибку. Если встречается пустой терм (например, “()” или “a&&b|”), то это также является ошибкой, так как такой терм не имеет смысла.

В результате разработки была создана первая версия устройства, позволяющая интерпретировать написанные пользователем функции в готовые цифровые логические устройства. Данное решение может быть интегрировано в различные электрические цепи, работающие с напряжением 5В, обеспечивая удобство использования и широкую сферу применения. Использование доступного микроконтроллера делает данную ПЛИС гибкой и универсальной, позволяя применять ее как в образовательных целях, для изучения логических функций и принципов работы цифровых схем, так и в практических задачах, требующих гибкой настройки логики без необходимости использования специализированного оборудования. В дальнейшем планируется расширение возможностей системы, включая поддержку сложных логических выражений, увеличение числа входов и выходов, а также интеграцию с другими микроконтроллерами и цифровыми устройствами.

Список использованных источников:

1. Программная эмуляция ПЛИС на микроконтроллерах / А.С. Иванов, П.В. Смирнов // Электронные компоненты и системы, 2020. – С. 45-52.

2. Цифровые логические схемы на базе микроконтроллеров / В.Н. Петров, И.В. Кузнецов.–М.: Технополис, 2018. – 320 с.

3. Оптимизация булевых выражений для встроенных систем / Е.В. Соколов [и др.] // Вестник инженерных исследований, 2019. – С. 78-85.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ СКЛЕЙКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПАНОРАМНЫХ СНИМКОВ

Феденков К. К., студент гр. 350503

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Перцев Д.Ю. – доцент, канд. технич. наук

Рассматривается ряд подходов по созданию панорам: Feature-based, Direct alignment и нейросетевые. Анализируются их преимущества, ограничения и оптимальные сферы применения.

Склейка изображений является классической задачей компьютерного зрения. Она находит применение в решении таких практических задач, как зондирование поверхности Земли, монтирование видео, обработка снимков, полученных с помощью микроскопа, и в других задачах, в которых важно обеспечить формирование цельного изображения. Существует множество методов решения задачи панорамирования, однако в работе выделены несколько.

Feature-based метод. Этот метод решает задачу склейки изображений путем детектирования особых точек для каждого кадра из представленной для склейки выборки. Вычисленные дескрипторы выполняют их сопоставление, на основании которого находится проективное преобразование, переводящее точки одного кадра в соответствующие точки другого с минимальной погрешностью. Для нахождения матрицы гомографии используется RANSAC. Затем вычисляются границы панорамного изображения и происходит сшивание панорамы. Описанный алгоритм можно улучшить компенсацией дисторсии входных изображений. Преимуществом данного метода является устойчивость к изменениям масштаба и поворота, а также устойчивость к частичным перекрытиям (20-30%). Недостатком метода является снижение точности при работе с малоконтрастными областями (например, слаботекстурированные области наподобие однородного неба) [1].

Direct alignment метод. Данный метод решает задачу панаромирования основываясь на итеративной оптимизации параметров геометрического преобразования между изображениями путём максимизации коэффициента корреляции их интенсивностей. Процесс начинается с инициализации матрицы преобразования, затем на каждой итерации вычисляется корреляция между исходным и преобразованным изображениями, нормированная по их средним значениям и стандартным отклонениям. Для оптимизации используется метод Левенберга-Марквардта (сочетает градиентный спуск и метод Гаусса-Ньютона), который обеспечивает устойчивую сходимость. Критерий остановки обычно включает либо достижение заданного порога точности, либо превышение максимального числа итераций. Преимуществом данного метода является его устойчивость к линейным изменениям яркости, что позволяет эффективно выравнивать изображения, полученные в разных условиях освещённости. Однако при работе с большими изображениями алгоритм требует значительных вычислительных ресурсов и чувствителен к большим сдвигам между кадрами, что ограничивает его применение задачами с относительно малыми деформациями (медицинская визуализация, микроскопия), где текстура изображений однородна [2].

Нейросетевые методы в задаче панорамного склеивания изображений представляют собой сочетание вышеописанных методов. Как следствие, алгоритмы на основе нейросетей разделяют на два основных направления: детекторы и дескрипторы ключевых точек и end-to-end модели. Детекторы и дескрипторы ключевых точек заменяют традиционные методы такие как SIFT или ORB, используя сверточные нейронные сети (CNN) для поиска и описания особенностей изображения, что обеспечивает более устойчивое сопоставление даже при значительных изменениях ракурса или освещения. End-to-end модели избегают явного выделения ключевых точек, предсказывая параметры преобразования напрямую из исходных изображений. Преимуществом данного метода является устойчивость к сложным условиям (освещенность, динамические объекты), а ключевой недостаток состоит в требовательности к вычислительным ресурсам [3].

Таким образом выбор алгоритма для решения задачи создания панорам должен основываться на контексте поставленной задачи. В случае наличия мощных вычислительных ресурсов необходимо выбрать нейросетевые методы. Direct alignment стоит использовать для однородных областей, а Feature-based метод – для текстурированных сцен.

Список использованных источников:

1. Brown, M., & Lowe, D. G. (2007). Automatic panoramic image stitching using invariant features. International Journal of Computer Vision, 74(1), 59–73.

2. Evangelidis, G. D., & Psarakis, E. Z. (2008). Parametric image alignment using enhanced correlation coefficient maximization. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 30(10), 1858-1865.

3. Sun, J., Shen, Z., Wang, Y., Bao, H., & Zhou, X. (2021). LoFTR: Detector-Free Local Feature Matching with Transformers. Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 8922-8931.

СТЕГАНОГРАФИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ НА ПЛАТФОРМЕ ARDUINO

Ананьева Т.М., студент гр.458301

Шахновский С.А., студент гр.458305

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Луцик Ю.А. – доцент, канд. техн. наук

Настоящая работа посвящена исследованию и разработке системы стеганографии на базе микроконтроллерной платформы Arduino. Предложен подход к реализации стеганографического алгоритма, использующего мелодию в качестве контейнера для скрываемых данных. Рассмотрена аппаратная и программная реализация системы на платформе Arduino, собран прототип устройства.

В современную цифровую эпоху вопросы обеспечения конфиденциальности и целостности данных приобретают первостепенное значение. Традиционные криптографические методы, направленные на шифрование передаваемой информации, не всегда являются достаточными, так как сам факт наличия зашифрованного сообщения может привлечь нежелательное внимание. В этом контексте значительный интерес представляет стеганография – наука скрытой передачи информации путем встраивания секретных сообщений в не вызывающие подозрения объекты-контейнеры [1]. В отличие от криптографии, скрывающей содержание сообщения, стеганография скрывает факт существования секретного сообщения.

Особый интерес представляет реализация стеганографических систем на доступных микроконтроллерных платформах, таких как Arduino, благодаря их доступности и простоте интеграции. Данная работа посвящена разработке системы, на базе Arduino для кодирования текста в мелодию, которая впоследствии проигрывается. Целью работы является создание прототипа такой системы. В соответствии с поставленной целью были определены задачи выбора аппаратных средств и разработки ПО для преобразования текста в мелодию и ее воспроизведения.

Задачи разработки включают в себя выбор подходящих аппаратных средств и реализацию программного обеспечения, учитывая особенности микроконтроллера.

Ключевой аппаратной проблемой является необходимость многопоточного или псевдо-параллельного воспроизведения звука для потенциально сложных мелодий-контейнеров, что нативно не поддерживается одним микроконтроллером Arduino Uno. Для решения этой задачи была выбрана распределенная архитектура системы. Она включает одну управляющую плату Arduino Uno (master) и две зависимые (slaves) платы Arduino. Взаимодействие между платами организовано по шине I2C [2].

К управляющей (master) подключены устройства ввода/вывода: LCD дисплей 16x2, матричная клавиатура 4x4 и SD-reader. Master-плата обрабатывает ввод пользователя и управляет процессом. К каждой зависимой плате подключен независимый звуковой канал: динамик и усилитель на базе LM386. Slave-платы генерируют звук по командам, получаемым от master-платы по I2C. Такая конфигурация позволяет распределить нагрузку и обеспечить синхронизированное воспроизведение звука.

Программное обеспечение разработано на языке C++ в стандартной среде Arduino IDE. Выбор C++ обусловлен его нативной поддержкой платформой Arduino, высокой производительностью, прямым доступом к аппаратным ресурсам и наличием обширных библиотек для работы с периферией.

Разработанный код реализует следующие функции:

— инициализацию всех аппаратных компонентов;

— обработку ввода с клавиатуры;

— реализацию обмена данными по I2C (master и slave);

— основной алгоритм стеганографического преобразования введенного текста в параметры мелодии (последовательность частот, длительностей и пауз);

— управление процессом распределенного воспроизведения мелодии осуществляется через slave-платы.

Исходя из поставленных требований к разрабатываемой системе был создан функционирующий прототип стеганографической системы. Система способна принимать текстовое сообщение с клавиатуры, осуществлять его кодирование в мелодию, согласно заложенному алгоритму, и воспроизводить её с использованием распределенной трехузловой конфигурации Arduino (1 master, 2 slaves).

Структурная схема разработанного программно-аппаратного устройства представлена на рисунке 1.

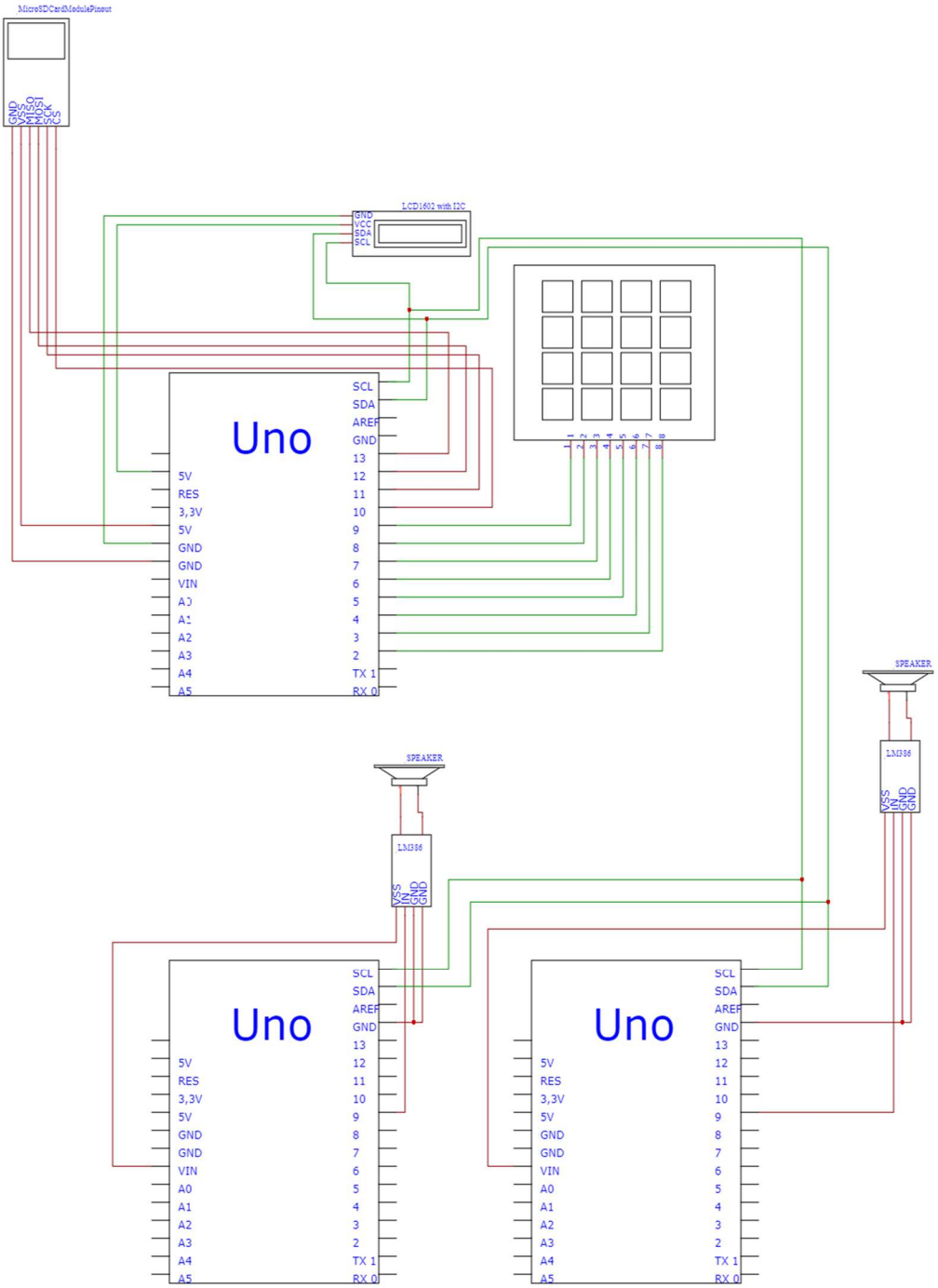


Рисунок 1 — Принципиальная схема устройства стенографического алгоритма

На рисунке 1 представлена управляющая плата, к которой подключены клавиатура 4x4 для ввода данных и устройство считывания данных для воспроизведения мелодий с SD карт. К зависимым платам подключены динамики через LM386. Все устройства Arduino Uno и LCD-дисплей соединены по технологии I2C посредством портов SCL и SDA.

Применение архитектуры master-slave успешно решило задачу ограниченных ресурсов одного микроконтроллера для воспроизведения звука. Продемонстрирована принципиальная возможность использования доступной платформы Arduino для реализации стеганографических методов с использованием акустического канала.

В дальнейшем планируется создание декодера полученной мелодии в текст с помощью нейронной сети для распознавания проигрываемых нот и декодирования их обратно в текст.

Список использованных источников:

1. Завьялов С. В., Ветров Ю. В. «Стеганографические методы защиты информации» : учеб.пособие. — Спб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. —190 с.

2. Описание интерфейса I2C [Электронный ресурс] — Режим доступа https://docstech.ru/i2c/ — Дата доступа 07.04.2025

СЕКЦИЯ 2

«ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»

УДК 616-71:616.7

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО ДИАГНОСТИКИ НАРУШЕНИЙ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА У ДЕТЕЙ И ВЗРОСЛЫХ

Глушаченко Н.С.[1], Деменковец Д.В.[1]

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники[1]
г. Минск, Республика Беларусь

Учреждение здравоохранения «6-я городская клиническая больница»[2]
г. Минск, Республика Беларусь

Аносов В.С.[2] – канд. мед. наук

Аннотация. В данной работе рассматривается программная реализация средства для сбора и анализа данных при диагностике нарушений опорно-двигательного аппарата у детей и взрослых.

Ключевые слова. Нарушения опорно-двигательного аппарата, диагностика пациентов, нарушения вестибулярного аппарата, стабилометрия, стабилограмма, балансировочный диск, диагностический модуль.

Нарушения опорно-двигательного аппарата у детей являются актуальной проблемой. По данным ВОЗ примерно 1,71 миллиарда человек в мире страдают от нарушений и болезней опорно-двигательного аппарата [1]. Подобные нарушения являются ведущим фактором инвалидизации во всем мире и приводят к преждевременному прекращению трудовой деятельности, снижению уровня благосостояния и сокращению возможностей для участия в жизни общества. Из-за роста численности и старения населения быстро увеличивается число людей с нарушениями и болезнями костно-мышечной системы человека.

Одним из видов исследований нарушений вестибулярного аппарата является стабилометрия. При проведении исследования пациенту необходимо соблюдать равновесие настолько, насколько это для него возможно. Получаемые оборудованием сигналы фиксируются компьютером, а затем, с помощью специальной программы, осуществляется обработка полученных данных. Исследования характеристик позы человека проводятся с различными целями, в различных областях, не только в медицине, но и в спорте. Стабилометрия позволяет оценить устойчивость, то есть способность тела, равновесие которого нарушено, восстанавливать свое первоначальное состояние. При этом исследование проводится как с открытыми, так и с закрытыми глазами [2].

Платформа для сбора данных представляет собой балансировочный диск с установленной на него электронной схемой. Использование нестабильной платформы при организации стабилометрического исследования заставляет испытуемого балансировать в попытках удержать равновесие, выполняя различные упражнения.

Для получения данных был разработан аппаратный комплекс, содержащий коммуникационный модуль с встроенным программным обеспечением, акселерометр для вычисления углов наклона диска, аккумуляторы для автономной работы, модуль для зарядки аккумуляторов, сетевой роутер Wi-Fi для работы комплекса в локальной сети.

Встраиваемая система представляет собой блок, интегрируемый в балансировочный диск. При этом размер и форма балансировочного диска не имеют значения, что делает данный блок портативным. При реализации учитывались требования к автономности, возможности передачи данных по локальной сети и удобству настройки системы.

На ранних этапах развития стабилометрии частота дискретизации при сборе данных составляла 5 Гц [3]. В первую очередь ограничения были связаны с недостатком памяти для хранения результатов исследований. Современные исследования показывают, что оптимальной частотой дискретизации является 100 Гц, однако частота может быть снижена до 50 Гц в случаях, когда не удается передать или сохранить тот объем данных, получаемый при частоте 100 Гц. [4].

Длительность исследования может продолжаться от нескольких десятков секунд до нескольких минут с учетом времени адаптации испытуемого. Регламент исследования предполагает длительность записи 51,2 секунды при частоте дискретизации 5 Гц [3]. Современные исследования показывают, что оптимальное время можно сократить до 40 секунд при частоте дискретизации 100 Гц [4].

Сравнение качества параметров при различной частоте дискретизации и времени исследования приведено на рисунке 1. В рамках исследований проведено сравнение качества таких параметров, как площадь эллипса, средняя скорость, площадь пути, среднеквадратические отклонения по осям OX и OY, время нахождения в заданной области, путь.

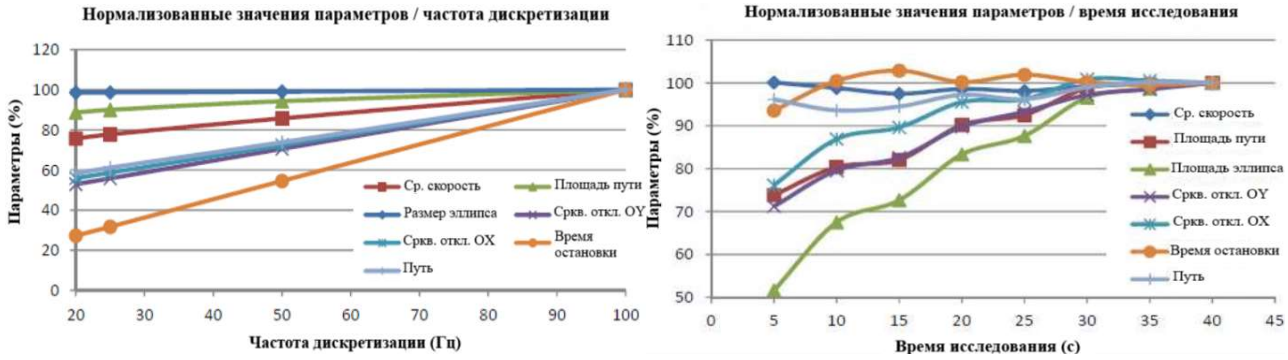


Рисунок 2 – Сравнение параметров при изменении частоты дискретизации и времени исследования

При использовании комплекса было зафиксировано смещение акселерометра относительно положения равновесия балансировочной платформы, что приводило к искажению результатов исследования. Положение испытуемого смещалось относительно центра. Также возникла необходимость реализации возможности изменения максимальных углов наклона акселерометра. Для решения этих проблем был разработан алгоритм калибровки. Калибровка балансировочной платформы включает в себя изменение максимальных углов наклона по осям OX и OY, а также центрирование.

Разработанное программное средство представляет собой приложение, совмещающее средство учета пациентов, хранения и записи результатов исследований. Приложение разрабатывалось для персональных компьютеров с операционной системой Windows на языке программирования C#. В качестве СУБД была выбрана sqlite, что позволяет реализовать локальное хранение информации и не требует использования отдельного сервера. В качестве формата для экспорта результатов исследования были выбраны таблицы Microsoft Excel и формат .xlsx.

Приложение позволяет настраивать частоту дискретизации исследования в диапазоне от 10 до 100 Гц. Необходимо учитывать, что частота дискретизации зависит в том числе от пропускной способности локальной сети, так как увеличение частоты дискретизации при низкой пропускной способности приведет к дублированию данных и ухудшению их достоверности.

Также при разработке учитывалось требование организации биологической обратной связи при проведении лечебно-реабилитационных мероприятий. Сбор информации представлен игровым режимом, где испытуемому необходимо разместить игрового персонажа в заданной области экрана (мишени) и удерживать положение в ней фиксированное количество времени. Чем ближе испытуемый находится к центру требуемой области, тем быстрее заполняется мишень. Прогресс игры представлен очками, которые набирает испытуемый при нахождении в требуемой области. Размер и время отображения мишени можно изменять в окне настроек.

Алгоритм соединения с аппаратным комплексом представлен на рисунке 2 и состоит из следующих шагов:

1 Пользователь включает аппаратный комплекс. При включении создается точка доступа.

2 Выполняется подключение к точке доступа и выбирается локальная сеть, в которой будет выполняться передача данных.

3 Выполняется «рукопожатие», которое включает в себя отправку 1 байта данных от коммуникационного модуля на компьютер и обратная отправка этих данных обратно коммуникационному модулю.

4 Аппаратный комплекс начинает передачу данных до разрыва соединения.

Сбор данных представляет собой запись углов наклона балансировочного диска в ходе исследования. При этом обеспечивается обработка разрыва соединения и досрочного прекращения сбора данных. В ходе сбора данных координаты группируются по мишеням. По окончании передачи данных собранные координаты и рассчитанные параметры сохраняются в базу данных, что позволяет выполнить воспроизведение записи, а также генерацию отчета о проведенном исследовании.

Координаты представлены углами наклона балансировочного диска, что позволяет использовать приложение при любых разрешениях экрана. При получении координат отдельный программный модуль выполняет их преобразование в координаты окна. Соединение координатных точек позволяет вычислить пройденное расстояние и среднюю скорость. Поскольку показатель средней скорости зависит от пройденного расстояния, его информативность не выше, чем у длины пути [5]. Важное различие заключается в том, что параметр скорости позволяет сравнивать исследования разной длительности. Для оценки рассеивания точек используется среднеквадратичное отклонение по осям OX и OY.

Для переносимости собранных данных был реализован отдельный модуль. Экспортируемый файл содержит сгруппированные по мишеням координаты, продолжительность исследования, угловую скорость, среднее смещение пациента, среднеквадратическое отклонение по осям OX и OY.

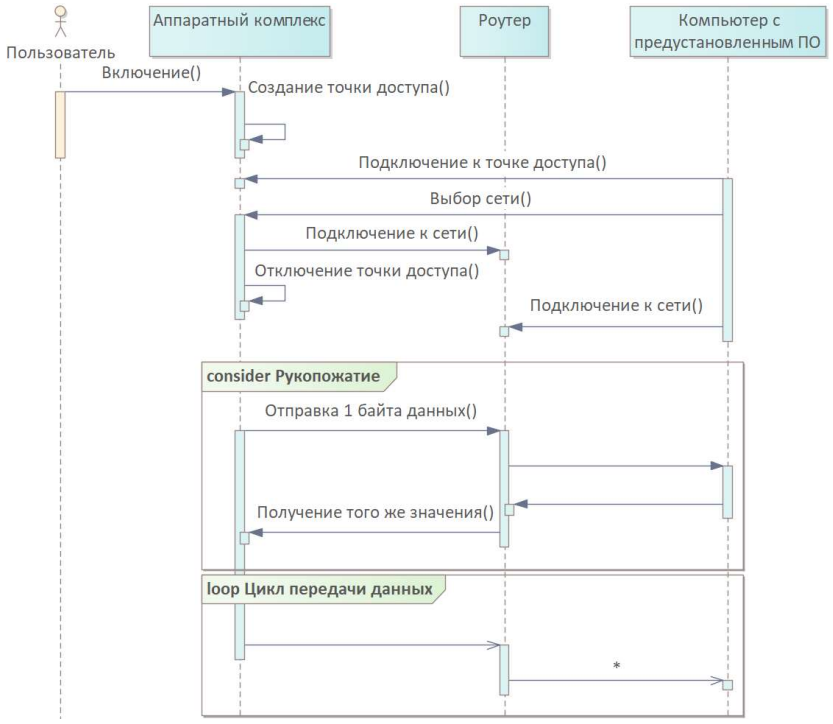


Рисунок 3 – Схема взаимодействия аппаратного комплекса с программным средством

При отображении данные группируются по мишеням. Для каждой мишени реализовано построение диаграммы интенсивности, показывающей, в какую сторону чаще всего отклоняется испытуемый относительно центра мишени. Результат построения диаграмм интенсив ности изображен на рисунке 3.

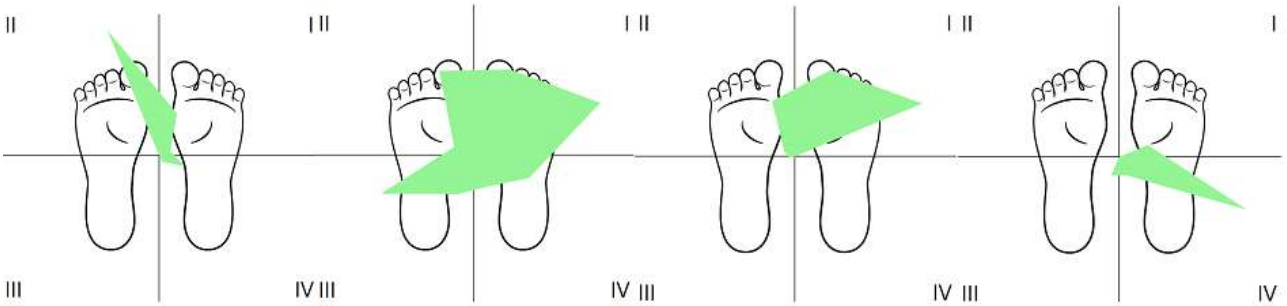


Рисунок 4 – Примеры построенных диаграмм интенсивности

Таким образом, на основании проведенной работы было создано программное средство, позволяющее визуализировать численные данные, получаемые от коммуникационного модуля. Были выбраны требуемые для диагностики числовые характеристики, реализованы алгоритмы их расчета и графического представления, проведен анализ характеристик интенсивности. Эти данные могут в дальнейшем быть использованы при оценке нарушений опорно-двигательного аппарата и вестибулярной системы врачами-ортопедами и травматологами.

Список использованных источников:

1. Musculoskeletal health [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/musculoskeletal-conditions – Дата доступа: 10.02.2025.

2. Гаже П.-М., Вебер Б., Постурология. Регуляция и нарушения положения тела человека. – 2008. – С. 113-139.

3. Gagey P. M. et al. AFP // Normes. – 1985. – Т. 85.

4. Scoppa F. et al. Clinical stabilometry standardization: basic definitions–acquisition interval–sampling frequency // Gait & posture. – 2013. – Т. 37. – №. 2. – С. 290-292.

5. Биологическая обратная связь с визуальным каналами стабилометрией : учеб.-метод. пособие / М.Г. Девялтовская, А.В. Платонов, Д.А. Козловский. – Минск : БелМАПО, 2021. – 23 с.

UDC 616-71:616.7

SOFTWARE FOR DIAGNOSING MUSCULOSKELETAL DISORDERS OF CHILDREN AND ADULTS

Glushachenko N.S., Demenkovets D.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics[1], Minsk, Republic of Belarus

Healthcare institution «6th city clinical hospital»[2], Minsk, Republic of Belarus

Anosov V.S.[2] – PhD in medicine

Annotation. This paper describes the software application of a tool for collecting and analyzing data in the diagnosis of musculoskeletal disorders of children and adults.

Keywords. Musculoskeletal disorders, patient diagnosis, vestibular disorders, stabilometry, stabilogram, balance disk, diagnostic module.

УДК 004.912

О ПРОБЛЕМЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОВЕРКИ ОТКРЫТЫХ ВОПРОСОВ ПРИ ТЕСТИРОВАНИИ

Тимошек Е.С., студент гр. 151001

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Парамонов А.И. – канд. техн. наук, доцент

Аннотация. В статье затронута проблема обработки естественных языков в контексте нахождения семантической близости между двумя фрагментами текста, один из которых является эталонным ответом на вопрос, а другой является ответом на тот же вопрос, который был дан тестируемым. Рассмотрены основные сложности, которые возникают в процессе семантического сравнения различных текстов. Приведено проектное решение обозначенных вопросов в виде программного средства.

Ключевые слова. Обработка текста, контекст, семантическое сравнение, Word2vec, Bert, проверка тестов, автоматизация.

С каждым годом все больше сфер жизни человека подвергается цифровизации. В настоящее время вычислительные машины используются повсеместно: от бухгалтерского учета, до медицинских исследований. Главное преимущество при использовании вычислительной техники заключается в возможности делегировать часть рутинных задач, не требующих творческих навыков на технику. Это позволяет автоматизировать многие процессы в самых разных отраслях, что повышает продуктивность и качество выполняемой работы. На данный момент современные информационно-коммуникационные технологии активно используются в образовательном процессе. Существует множество программных средств и платформ для повышения качества учебного процесса, автоматизации отдельных процессов и в целом цифровизации [1]. Одним из аспектов образовательного процесса является проверка знаний (различные виды контроля). Контроль знаний учащихся в форме тестирования сегодня нашел широкое применение. Используются системы автоматического тестирования учащихся, которые позволяют создавать тесты с различными видами вопросов: вопросы с вариантами ответа, вопросы с пропущенным словом, вопросы, где нужно ввести короткий числовой ответ, вопросы на сопоставление и многие другие. Автоматическая проверка данных вопросов не вызывает затруднений, так как заранее известно каким должен быть правильный ответ либо, в некоторых случаях, варианты правильного ответа. Что же касается открытых вопросов, где учащемуся необходимо порассуждать на тему и дать собственную формулировку, то самые популярные системы автоматической проверки ответов не поддерживают автоматическую проверку таких вопросов.

Открытым вопрос в данном контексте – это вопрос, требующий от учащегося передать суть некоторого явления своими словами либо требующий порассуждать на некоторую тему, выдвинуть свои гипотезы и предположения. Как правило, ответ на подобный вопрос включает в себя от нескольких предложений до нескольких абзацев текста. Ключевое отличие данного вида вопросов при автоматической проверке от перечисленных выше видов заключается в том, что верный ответ может иметь огромное количество вариаций, которые могут отличаться как порядком слов и очередностью утверждений, так и иметь различные способы раскрытия сути одного и того же явления, примером чего можно считать приведение различных аналогий. Очевидно, что предусмотреть все возможные варианты верного ответа невозможно, требуется сравнивать семантический смысл, вложенный в текст, являющийся эталоном и в текст, который необходимо проверить. Так как по озвученным выше причинам они не могут совпадать полностью, то необходимо проверить укладывается ли проверяемый ответ в некоторый интервал, в котором ответ считается верным. Интервал можно установить свой для каждого вопроса в зависимости от того, ожидается ли точный ответ на поставленный вопрос от учащегося или достаточно его мыслей в верном направлении.

При анализе естественных языков необходимо учитывать специфику конкретного языка. В мире существует множество языков, каждый из которых может иметь свои уникальные правила и особенности. Это может выражаться как в способе писать слова, как в языках на подобие китайского, где каждый иероглиф сам по себе имеет смысл и в некотором роде является словом, так и в способе построения предложений. Не стоит забывать и про то, что на смысл, вкладываемый в текст, написанный на определенном языке, влияет культурная среда, в которой живет человек. Кроме того, перевод текста с одного языка на другой ведет к потере части вложенного в него смысла, а устойчивые выражения, используемые в одном языке, могут звучать как не имеющий смысла набор слов в другом, или просто не иметь подходящего аналога в этом языке, но сам смысл высказывания понятен.

Русский язык, как и другие языки, имеет свои особенности. Одной из таких особенностей является важность пунктуации. В одном предложении может быть неограниченное количество знаков пунктуации, которые используются для связи частей предложения. Данная проблема возникает из-за

того, что предложения в русском языке есть сложносочиненные предложения, которые состоят из двух равноправных частей, и сложносочиненные предложения, в которых одна часть зависит от другой. При этом каждая часть предложения может состоять из произвольного количества частей поменьше, использующих те же способы связи. В данных обстоятельствах знаки пунктуации указывают на то, как и к какой конкретно части предложения относится другая часть. Кроме того, в русском языке предложение, являющееся вопросительным, может отличаться от утвердительного предложения исключительно интонацией в устной речи и знаком точки или вопроса в письменном виде. Для примера можно привести предложение «Он уже ушел?». Если в конце предложения стоит точка, то один собеседник передает другому информацию о том, что кто-то уже ушел. Если же в конце предложения будет вопросительный знак, то один собеседник запрашивает информацию у другого, ожидая получить от него ответ. Получается два разных предложения, состоящих из одних и тех же слов в одной и той же последовательности, но несущих в себе различный смысл. В качестве примера влияния запятых на смысл предложения можно привести обращения, которые отделяются запятыми от остального предложения и служат указанием, кто является адресатом предложения. Для примера можно привести предложение «Сергей, пошел бы в лес». В случае, когда запятая присутствует, один человек обращается к другому и предлагает ему сходить в лес. Если убрать запятую, то получится, что один собеседник сообщает другому собеседнику информацию о том, что Сергей с наибольшей вероятностью отправился бы в лес. Так же возможны ситуации, когда запятая была пропущена. В таком случае определить смысл некоторый предложений становится проблематично, для примера известная фраза «казнить нельзя помиловать» в зависимости от запятой приобретает прямо противоположный смысл: в случае, когда запятая перед «нельзя», фраза означает окончательный приговор о смертной казни, который не подлежит обжалованию, в то время как запятая после «нельзя» превращает фразу в помилование. Для того, чтобы определить точный смысл предложения в случае, когда запятая пропущена, необходимо учитывать контекст, но даже так есть шанс, что определить точно не получится, и тогда придется проверять несколько вариантов расстановки знаков пунктуации.

Еще одной проблемой при обработке русского языка являются синонимы и омонимы, то есть близкие по смыслу слова, но совершенно разные по написанию, и одинаковые по написанию слова, но разные по смыслу. Проблема с синонимами стоит менее остро, так как существует опция все синонимичные слова условно считать одним и тем же словом. Что касается омонимов, то единственный способ установить точное значение слова-омонима заключается в анализе контекста, причем имеется в виду контекст не только предложения, но и всего текста целиком. Например, в предложении «Он смотрит на лук.» невозможно однозначно определить, идет речь об овоще или об оружии. Но если это происходит в огороде, то вероятнее всего речь идет об овоще. Наиболее точно это определяется лишь тогда, когда описываются действия с предметом, который обозначается этим словом, возможные для одного значения слова и невозможные для другого значения, либо по каким-то характеристикам, имеющим смысл только для одного из значений, либо по каким связанным словам, к примеру, если речь пройдет про тетиву лука, то это однозначно оружие. Однако, проблему с омонимами можно считать несущественной в тех случаях, когда сравниваются текстовые фрагменты на схожую тему, так как у них будет общий контекст, а значит и вероятность, что смысл слов-омонимов будет одинаковым, будет близка к единице. Современные модели, такие как Word2vec и Bert в своей работе учитывают контекст слова, для определения его семантического значения [2].

На ряду со словами-омонимами, проблемой также являются опечатки, которые неизбежно допускаются людьми. В общем случае для исправления опечаток используются различные способы, опирающиеся на метрики на подобие расстояния Левенштейна [3]. В сравнении с английским языком, в русском языке куда меньше слов, которые различаются на одну или две буквы, либо имеют две буквы, поменянные местами. Это уменьшает возможные варианты того, что предполагалось написать изначально. Кроме того, это уменьшает количество ситуаций, когда в слове была допущена опечатка и получилось другое существующее слово. Для примера можно привести английские слова beer (пиво) и bear (медведь) или русские пень и тень, однако в русском языке из-за наличия множества форм слов отличить одно слово от другого становится проще, так как они могут склоняться по-разному. В целом, проблема с опечатками может быть решена схожими средствами, что и проблема со словами-омонимами, с добавлением использования расстояния редактирования для того, чтобы определять наиболее вероятные варианты правильного написания слова с учетом количества ошибок, которое необходимо было допустить в слове, чтобы оно получилось таким.

Стоит отметить, что порядок слов в русском языке может меняться в широких пределах. В русском языке есть несколько определенных общепринятых способов построения предложений, однако любой человек может использовать свой уникальный стиль общения, который будет немного отличаться. Более того, в некоторых ситуациях смысл предложения может никак не поменяться, а в некоторых порядок слов влияет на смысл предложения. В качестве примера можно привести «дом стоит уже двадцать лет» и «дом стоит уже лет двадцать» – в первом случае сообщается точная информация, что дом стоит именно двадцать лет, во втором случае информация приблизительная, и на самом деле дом может стоять и девятнадцать, и двадцать три, и двадцать лет. Кроме того, если

рассматривать сложносочиненные или сложноподчиненные предложения, то обмен местами подлежащих или сказуемых из разных частей предложения исказит его смысл значительно. В рамках одной части предложения перестановка слов местами влияет на итоговый смысл предложения в меньшей степени, при перестановке однородных членов предложения эффекта и вовсе не будет, однако перестановка слов может сменить отношения между словами, к примеру, перемешав прилагательные разных предметов. Таким образом в русском языке необходимо учитывать порядок слов предложения для корректного семантического сравнения различных текстовых фрагментов.

Еще одна сложность, которая возникает в процессе семантического анализа текстового фрагмента, заключается в местоимениях, таких как «он», «она», «они» и другие. Сами по себе местоимения не несут полной информации, сообщая лишь о числе некоторых субъектов и роде субъекта, если он один. Однако, местоимения используются в предложениях для того, чтобы заменять собой существительные, которые уже были ранее упомянуты. Это делается для того, чтобы избежать повторяемости слов, которая делает текст менее выразительным и топорным. Например, в тексте «Ваня встал утром, после чего он пошел чистить зубы», имя Вани заменяется местоимением «он». Это обстоятельство вынуждает учитывать, что было написано до встреченного местоимения, чтобы иметь возможность определить, какое слово было заменено местоимением. Стоит упомянуть, что не всегда местоимение относится к ближайшему слову, которому оно предшествует. Например, «Ученики сдали экзамены, чему они несказанно рады». В данном предложении местоимение «они» однозначно относится к ученикам, а не к экзаменам, хотя оба слова имеют множественное число и могут быть заменены словом они. Кроме того, бывают ситуации, где однозначно определить, к какому слову относится местоимение не представляется возможным. Примером этого может послужить предложение «Василий увидел Максима, и он улыбнулся». В данном случае улыбнуться мог как Василий, так и Максим. В данной ситуации разрешить неоднозначную ситуации может помочь контекст предыдущих предложений, либо последующие предложения. То есть, если после этого предложения будет написано что-то вроде «Он уже давно не видел Максима улыбающимся», то очевидно, что речь шла о Максиме. Такая ситуация, когда возникает неоднозначность связи между местоимением и заменяемым им словом, которую невозможно разрешить без анализа предшествующих и последующих предложений, называется анафорой. Для разрешения анафоры могут быть использованы различные методы, в том числе те, которые основаны на машинном обучении [4].

Еще одной значительной проблемой при выделении смыслового наполнения текста являются фразеологизмы, то есть устойчивые словосочетания, а также крылатые выражения. Основная проблема заключается в том, что несколько слов, составляющих фразеологизм имеют совершенно иной смысл, чем их комбинация в фразеологизме. Например, словосочетание «повесить нос» означает расстроиться. Буквальное трактование данного словосочетания предполагает, что кто-то повесил куда-то нос. Помимо фразеологизмов, существуют так же крылатые выражения, которые по сути своей являются теми же фразеологизмами. Ключевое отличие между ними заключается в том, что фразеологизмы возникают в какой-то конкретной культуре и не понятны для людей из других культур. В свою очередь крылатые выражения связаны с историческими событиями и личностями, с мифами или известными литературными произведениями и авторами. Обработка фразеологизмов и крылатых выражений может с одной стороны может быть выполнена посредством предобработки текста, во время которой все устойчивые словосочетания будут заменены их истинным значением, так как в большинстве случаев слова, составляющие фразеологизм неразрывно связаны и идут в строго определенном порядке, однако, несмотря на то, что многие фразеологизмы всегда являются фразеологизмами, некоторые из них могут быть использованы в буквальном значении. Например, фразеологизм «серая мышь», который означает скромного и неприметного человека, может оказаться не фразеологизмом в случае, речь идет мышах и говоря про серую мышь человек действительно будет иметь в виду мышь серого цвета. Как и в случае с омонимами, необходимо анализировать контекст, в котором устойчивое словосочетание используется, что может быть сделано при помощи различных способов, например, используя метод Bag-of-ngrams или GloVe [5].

Проанализировав существующие сложности и наиболее популярные методы и алгоритмы был сделан вывод, что разработка систем для проверки открытых вопросов должна включать использование технологий машинного обучения и обработки естественного языка для создания моделей, способных оценивать содержание открытых ответов по семантическому смыслу. Важно учитывать языковые особенности, создавая специализированные модели для различных языков, которые будут учитывать их уникальные правила и грамматику. Кроме того, необходимо интегрировать анализ пунктуации, разрабатывая алгоритмы, которые помогут определить структуру и смысл предложений. Для обработки синонимов и омонимов можно использовать известные контекстуальные модели на базе трансформеров, такие как BERT, что позволит лучше использовать контекст. Коррекция опечаток требует разработки алгоритмов, учитывающих морфологические особенности языка, чтобы обеспечить более точную коррекцию. Анализ порядка слов является еще одной важной задачей; для этого следует использовать модели, которые могут учитывать изменения порядка слов и их влияние на смысл, возможно, с использованием глубоких нейронных сетей.

При разработке алгоритмов были изучены существующие подходы сравнения текстовых фрагментов, их эффективность и особенности применения. Данные подходы включают в себя: посимвольное сравнение текстов, расстояние Левенштейна, расстояние Дамерау-Левенштейна, Bag-of-words, метрика Жаккара, TF-IDF, word2vec, Bert, GloVe, Doc2vec и косинусное сходство. Наиболее подходящими для быстрого предварительного сравнения оказались алгоритмы, основанные на расстоянии Левенштейна, для выявления текстов, которые практически полностью совпадают с ожидаемым ответом, и алгоритмы, основанные на метрике Жаккара, позволяющие получить схожесть двух текстов основываясь на наборе слов, входящих в них. Для повышения точности может быть использованы модификации на подобие TF-IDF для уменьшения веса слов, не несущих в себе значения (предлоги и союзы и другие). Основное преимущество указанных алгоритмов является скорость, так как они довольно простые и не требуют вычислительных ресурсов, однако это негативно сказывается на точности оценки, так как не учитывается контекст, порядок слов в предложениях, их структура и последовательность, а также не учитывает фразеологизмы и омонимы. Кроме того, слова используются в своей начальной форме, что также несет потерю смысла. Более точную оценку дают алгоритмы, использующие косинусное сходство. Для данного метода необходимо некоторым способом преобразовать сравниваемые фрагменты текста в векторное пространство, в котором они будут представлять свое смысловое значение. Точность данного метода зависит от способа перевода текста в векторное пространство. Наиболее эффективными оказались модели Bert и Word2vec, а также модель Doc2vec, основанная на Word2vec. Преимущества Word2vec заключается в скорости обучения и в возможности учитывать контекст слов в предложении или нескольких предложениях. Однако, данные модель преобразует лишь одно слово в векторное пространство, что требует дополнительных алгоритмов для перевода векторов слов в тексте в один вектор, который будет представлять собой вектор текста. Для этого используется усредненный вектор всех слов, входящих в текст, при этом использование TF-IDF в данном случае не дает ощутимого прироста точности оценки. Либо может быть использована модификация Word2vec под названием Doc2vec, которая преобразует весь текст целиком в векторное пространство. Данная модель демонстрирует большую точность, чем модель Word2vec, при том, что может быть обучена на том же наборе данных и за то же время.

Обозначенные проблемы предлагается решить путем создания программного средства, которое будет обладать следующим функционалом: семантическое сравнение текстов (определение меры похожести двух текстов в диапазоне), функция создания тестов, которые состоят из вопросов, требующих развернутых ответов (для создания вопроса пользователь должен ввести текст самого вопроса и пример эталонного ответа, который будет считаться правильным и использован для оценки ответов учащихся), регистрация пользователей с различными ролями: ученик и преподаватель, а также процесс авторизации, чтобы обеспечить доступ к функционалу, прохождение тестов, созданных преподавателями, а также осуществление автоматической проверки всех ответов на тест и формирование отчета для преподавателя о тех работах, которые нуждаются в дополнительной проверке, так как система автоматической проверки дает оценку схожести близкую к пограничной, до которой ответ считается неверным, а после которой он считается верным.

Программное средство реализуется с использованием современных средств и технологий, включая такие языки программирования, как Java для серверной части и JavaScript для клиентской части. Для разработки серверного приложения применяется фреймворк Spring Boot, который в сочетании с Spring Data JPA обеспечивает эффективную работу с базами данных. На клиентской стороне используется React, что позволяет создавать динамичные и отзывчивые пользовательские интерфейсы. Для выполнения HTTP-запросов из React-приложения применяется библиотека Axios. Для управления зависимостями в Java используется Maven, а для JavaScript – Node.js и npm. В качестве системы управления базами данных используется PostgreSQL. Для семантического сравнения текстов в рамках программного средства используется язык Python с такими библиотеками как NLTK (Natural Language Toolkit) для токенизации, стемминга и лемматизации, spaCy, поддерживающая семантический анализ и векторизацию слов и Transformers от Hugging Face предоставляет доступ к предобученным моделям, таким как BERT, которые предоставляют инструменты для семантического сравнения текстовых фрагментов.

Список использованных источников:

1. Парамонов, А. И. Проблемы дистанционного образования и их прикладные решения в образовательных технологиях / А. И. Парамонов // Высшее техническое образование : проблемы и пути развития = Engineering education: challendes and developments : материалы X Международной научно-методической конференции, Минск, 26 ноября 2020 года / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2020. – С. 182–187.

2. Частикова, В. А. Методика обнаружения атак социальной инженерии на основе алгоритмов анализа естественного языка / В. А. Частикова, В. Г. Гуляй // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2022. – № 3(59). – С. 61-71.

3. Напреенко, Г. В. Программные возможности идентификации текстов: сопоставление на схожесть, установление тождества, проверка на уникальность / Г. В. Напреенко, // Вестник челябинского государственного университета, Номер 3(485). 2024. – С. 55-65.

4. Соколов, А.В. Разработка системы разрешения анафоры на основе методов машинного обучения / А. В. Соколов, Т. В. Батура // Программные продукты и системы = Software & Systems, Номер 29, 2017. – С. 461–468.

5. Анализ алгоритмов классификации текстов / Universum: технические науки: электрон. научн. журн. Логунова Т.В. [и др.]. 2023. 2(107). – С. 4–20.

UDC 004.912

PROCESS AUTOMATION OF CHECKING TEST QUESTIONS WITH TEXTS ANSWERS

Timoshek E.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Paramonov A.I. – PhD in Technical Sciences, associate professor

Annotation. The article reveals the natural language processing problem in the context of finding semantic proximity between two text fragments. One text is a reference answer to some open question, and the other considered text is a student answer to the same test question. The main difficulties that arise in the process of semantic comparison of different texts are considered. A design solution to the identified issues in the form of a software tool is provided.

Keywords. NLP, Text Processing, Context, Semantic Matching, Word2vec, Bert, Testing Verification, Automation processing.

УДК 004.925.3

ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАССИРОВКИ ПУТИ В VULKAN ЧЕРЕЗ КЛАСТЕРИЗАЦИЮ ГЕОМЕТРИИ И РАЗДЕЛЕНИЕ СТРУКТУР УСКОРЕНИЯ ВЕРХНЕГО УРОВНЯ

Акименко А.В., студент гр. 151004

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Ярмолик В.Н. – доктор техн. наук, профессор

Аннотация. В статье исследуется метод оптимизации производительности трассировки пути (path tracing) для рендеринга крупномасштабных и динамичных трёхмерных сцен с использованием графического API Vulkan и его расширений для трассировки лучей (VK_KHR_ray_tracing_pipeline, VK_KHR_acceleration_structure). Предлагается и детально анализируется подход, основанный на пространственной кластеризации геометрии сцены и построении множественных, независимых структур ускорения верхнего уровня (TLAS) вместо традиционной единой монолитной структуры. Рассматриваются стратегии кластеризации, аспекты реализации в Vulkan, включая управление ресурсами и адаптацию шейдерного конвейера. Анализируются преимущества данного метода в контексте снижения вычислительных затрат на построение и обновление TLAS, улучшения локальности данных при обходе структур ускорения графическим процессором, а также возможностей для реализации эффективных стратегий отсечения (culling) невидимых частей сцены.

Ключевые слова. Трассировка пути, Vulkan, трассировка лучей, структуры ускорения, TLAS, BLAS, рендеринг, 3D графика, оптимизация GPU, крупномасштабные сцены, кластеризация геометрии, отсечение геометрии, VK_KHR_ray_tracing_pipeline, VK_KHR_acceleration_structure, управление памятью GPU.

Трассировка пути (path tracing) утвердилась как основной метод для достижения фотореалистичного качества визуализации в компьютерной графике благодаря своей способности точно моделировать сложные явления глобального освещения, такие как мягкие тени, каустики, непрямое освещение и реалистичные отражения/преломления [3]. Однако, фундаментальная стохастическая природа метода Монте-Карло, лежащего в его основе, требует генерации и обработки огромного количества лучей для получения изображения без шума, что накладывает экстремальные вычислительные требования. Особенно остро эта проблема проявляется при рендеринге крупномасштабных сцен, содержащих миллиарды геометрических примитивов, характерных для современных игр с открытым миром или сложных CAD/CAM моделей [1].

Появление низкоуровневых графических API, таких как Vulkan, и стандартизированных расширений для аппаратной трассировки лучей (VK_KHR_acceleration_structure, VK_KHR_ray_tracing_pipeline, VK_KHR_ray_query и др.) [2] предоставило разработчикам беспрецедентный контроль над графическим процессором (GPU) и возможность использовать специализированные аппаратные блоки для ускорения операций поиска пересечений лучей с геометрией. Тем не менее, даже с аппаратным ускорением, эффективность построения, обновления и обхода структур ускорения (Acceleration Structures – AS) остается критически важным фактором производительности, особенно для динамичных сцен большого масштаба.

Стандартный подход к организации геометрии для трассировки лучей в Vulkan предполагает использование двухуровневой иерархии структур ускорения: множество структур ускорения нижнего уровня (Bottom-Level Acceleration Structure – BLAS), каждая из которых строится для уникальной геометрии (например, меша объекта), и единственная структура ускорения верхнего уровня (Top-Level Acceleration Structure – TLAS), которая содержит экземпляры (instances) всех BLAS в сцене с их трансформациями.

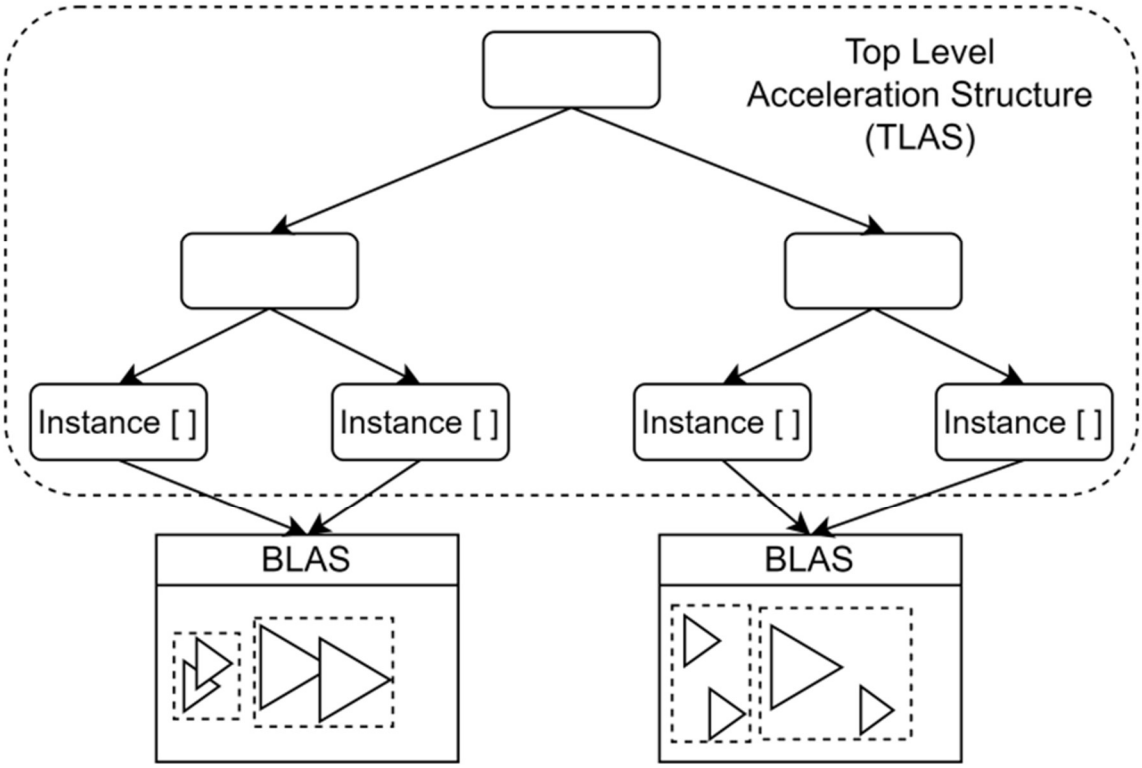


Рисунок 1 – Обзор структуры Top-Level Acceleration Structure

Хотя этот подход хорошо работает для статичных или умеренно сложных сцен, он сталкивается с серьезными проблемами масштабируемости при работе с «мега-геометрией»:

1. Высокая стоимость построения/обновления TLAS. Построение TLAS, содержащей миллионы или миллиарды экземпляров, является вычислительно дорогой операцией. В динамичных сценах, где объекты постоянно движутся, добавляются или удаляются, требуется частое обновление (refitting) или полное перестроение (rebuilding) TLAS. Обновление даже одного экземпляра в монолитной TLAS может потребовать обновления значительной части её внутренних узлов, а полное перестроение – это крайне затратная операция, потенциально занимающая несколько миллисекунд и становящаяся «узким местом» всего кадра.

2. Неэффективность обхода. Обход очень большой TLAS для каждого луча может страдать от плохой локальности данных. Узлы TLAS, соответствующие геометрически удаленным частям сцены, могут попадать в кэш GPU, вытесняя более релевантные данные и приводя к увеличению задержек доступа к памяти (cache thrashing). Это снижает эффективность использования аппаратных блоков трассировки лучей.

3. Ограниченные возможности отсечения. Единая TLAS не предоставляет удобных механизмов для гранулярного отсечения (culling) больших частей сцены, которые заведомо невидимы (например, находятся за пределами пирамиды видимости камеры или полностью перекрыты другими объектами). Хотя аппаратный обход TLAS сам по себе выполняет пространственное отсечение, он все равно требует обработки корневых узлов структуры, что может быть излишним, если известно, что целые регионы сцены невидимы.

Для преодоления ограничений монолитной TLAS, предлагается метод, основанный на разделении геометрии сцены на пространственные или логические кластеры и построении отдельной, независимой TLAS для каждого кластера.

Первым шагом является разбиение всего множества экземпляров геометрии сцены на непересекающиеся или частично пересекающиеся подмножества – кластеры. Эффективность всего подхода во многом зависит от выбранной стратегии кластеризации:

– Пространственное разбиение. Наиболее распространенный подход, использующий пространственные структуры данных для декомпозиции сцены. Вариациями пространственного разбиения являются:

1. Регулярная сетка (Grid). Пространство сцены делится на ячейки одинакового размера. Просто в реализации, но может приводить к несбалансированным кластерам (очень много геометрии в одних ячейках и пусто в других).

2. Иерархические структуры (Octree, KD-Tree, BVH). Адаптивно делят пространство, создавая более сбалансированные кластеры, лучше соответствующие распределению геометрии. Требуют более сложной реализации и управления.

3. Семантическая группировка. Объекты объединяются по логическому признаку, не обязательно связанному с их пространственным положением (например, все статические объекты, все динамические объекты, объекты одного типа, компоненты одного сложного механизма). Может быть полезна для специфических сценариев обновления или шейдинга.

– Комбинированный подход. Сочетание пространственного и семантического разбиения для достижения наилучшего баланса. Например, пространственное разбиение для статической геометрии и отдельные кластеры для крупных динамических объектов.

Выбор стратегии должен учитывать характеристики сцены (статичная/динамичная, плотность геометрии) и целевые задачи оптимизации (скорость обновления, эффективность обхода, гранулярность отсечения).

Вместо одной команды vkCmdBuildAccelerationStructuresKHR для построения глобальной TLAS, выполняется серия вызовов для создания или обновления отдельных TLAS для каждого кластера. Каждая TLAS содержит только те экземпляры геометрии (и ссылки на их BLAS), которые принадлежат данному кластеру.

Это приводит к ряду преимуществ:

– Снижение затрат на обновление. При изменении трансформации или видимости объекта требуется обновить или перестроить только ту TLAS (или те TLAS, если объект на границе), к которой он принадлежит. Поскольку каждая TLAS значительно меньше монолитной, эти операции выполняются гораздо быстрее. Обновления разных TLAS могут выполняться параллельно на GPU.

– Улучшение локальности данных. При трассировке луча, пересекающего объекты одного кластера, GPU будет с большей вероятностью работать с данными (узлами TLAS, экземплярами, матрицами трансформаций), находящимися близко друг к другу в памяти и потенциально кэшированными. Это повышает эффективность обхода AS.

– Эффективное отсечение (Culling). Появляется возможность выполнять отсечение на уровне кластеров. На CPU можно определить, какие кластеры (и их TLAS) пересекаются с пирамидой видимости камеры (frustum culling) или не перекрыты другими объектами (occlusion culling). В шейдер генерации лучей (Ray Generation shader) передается только список «активных» TLAS, и трассировка выполняется только по ним, полностью игнорируя геометрию в отсеченных кластерах.

Управление множеством TLAS требует более сложной логики со стороны приложения. Необходимо хранить и управлять массивом дескрипторов VkAccelerationStructureKHR и соответствующими буферами памяти. На Рисунках 2 и 3 схематично показаны различия между монолитным и мульти-TLAS подходами.

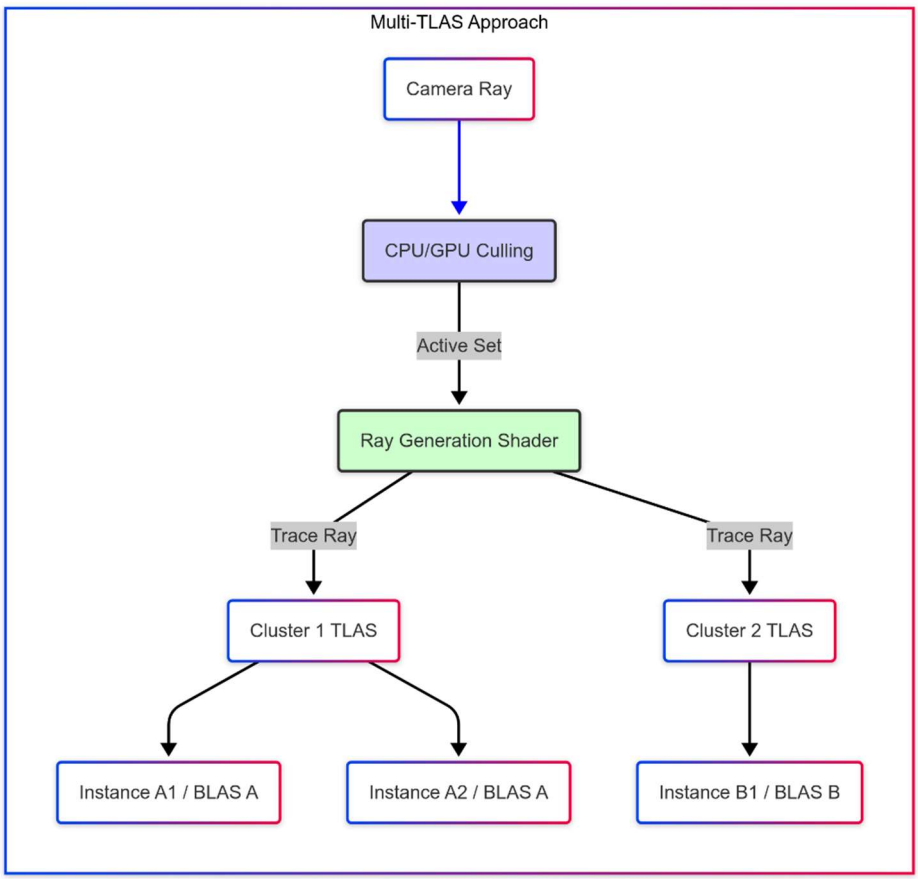


Рисунок 2 – Общее представление мульти-TLAS подхода

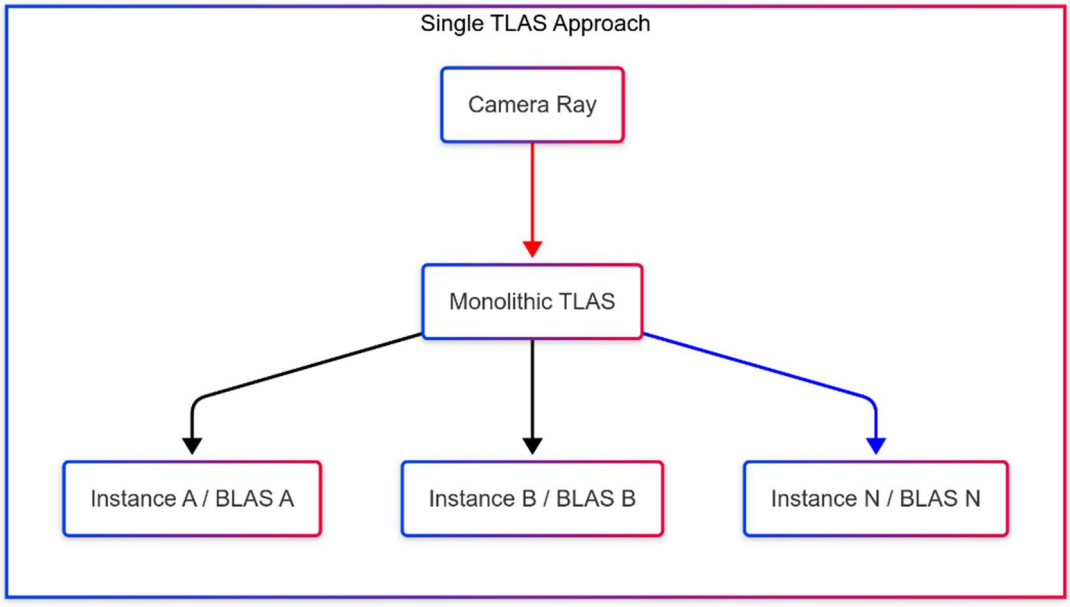


Рисунок 3 – Общее представление монолитного подхода

Использование множественных TLAS требует модификации конвейера трассировки лучей:

– Выбор TLAS для трассировки. Как упомянуто, основной механизм – передача списка активных TLAS (например, их индексов или дескрипторов через буфер хранения – storage buffer) в шейдер генерации лучей (RGen). Шейдер RGen затем инициирует трассировку (vkCmdTraceRaysKHR или traceRayEXT в GLSL) либо итеративно по списку активных TLAS, либо используя более сложную логику, основанную на направлении луча и пространственном расположении кластеров.

– Таблица Привязки Шейдеров (Shader Binding Table – SBT). Структура SBT может оставаться

относительно неизменной, но необходимо правильно вычислять смещения для доступа к записям шейдеров (Hit Group, Miss). Поскольку экземпляры в разных TLAS могут ссылаться на одни и те же BLAS и использовать одни и те же шейдеры, важно, чтобы индексы экземпляров (InstanceID или InstanceCustomIndexKHR) корректно отображались на глобальные идентификаторы материалов или объектов для выборки нужных данных и вызова правильных шейдеров из SBT. Поле InstanceCustomIndexKHR в структуре VkAccelerationStructureInstanceKHR может быть использовано для хранения уникального идентификатора объекта или материала независимо от того, в какой TLAS он находится.

Несмотря на очевидные преимущества, подход с множественными TLAS не лишен недостатков и требует тщательного рассмотрения:

– Увеличение сложности управления. Управление жизненным циклом, памятью и обновлениями множества TLAS сложнее, чем для одной структуры. Требуется надежная система управления кластерами и их синхронизации.

– Накладные расходы на выбор TLAS. Логика определения релевантных TLAS (как на CPU, так и потенциально в RGen шейдере) вносит дополнительные вычислительные расходы. Необходимо найти баланс между гранулярностью разбиения и этими расходами. Слишком мелкие кластеры могут привести к тому, что накладные расходы на управление и выбор превысят выгоду от уменьшения размера TLAS.

– Обработка границ кластеров. Объекты, находящиеся на границах кластеров, могут потребовать специальной обработки: либо включения в несколько TLAS (что приводит к дублированию данных экземпляров), либо реализации механизма передачи лучей между соседними TLAS.

– Потребление памяти. Хотя каждая отдельная TLAS меньше, суммарный объем памяти, занимаемый всеми TLAS и их внутренними узлами, может быть несколько больше, чем у одной оптимизированной монолитной TLAS, из-за некоторой избыточности в узлах верхнего уровня и потенциального дублирования экземпляров на границах.

Разделение единой структуры ускорения верхнего уровня на множество кластеризованных TLAS в рамках Vulkan Ray Tracing представляет собой мощный и перспективный метод оптимизации рендеринга методом трассировки пути, особенно для крупномасштабных, динамичных сцен с «мега-геометрией». Потенциальные выгоды от снижения затрат на построение и обновление AS, улучшения локальности данных при обходе и возможности эффективного гранулярного отсечения геометрии могут значительно повысить общую производительность и приблизить возможность использования полноценной трассировки пути в реальном времени для визуализации сцен нового поколения.

Данный подход хорошо синергирует с другими техниками оптимизации, такими как использование уровней детализации (LOD), карт непрозрачности (Opacity Micromaps – OMM) и карт смещения (Displacement Micromeshes – DMM) [1], позволяя более гибко управлять структурами ускорения для различных представлений геометрии внутри кластеров. Улучшение базовой производительности трассировки также положительно сказывается на техниках глобального освещения, использующих эти лучи, например, Neural Radiance Cache (NRC) из RTXGI [4].

Несмотря на возрастающую сложность реализации и управления ресурсами, ожидаемый выигрыш в производительности оправдывает применение данного метода в требовательных графических приложениях. Дальнейшие исследования могут быть направлены на:

– Разработку адаптивных и динамических стратегий кластеризации, изменяющих структуру кластеров во время выполнения в зависимости от положения камеры и распределения динамических объектов.

– Исследование гибридных подходов, сочетающих множественные TLAS для удаленных или статичных частей сцены с единой TLAS для близлежащих или высокодинамичных областей.

– Анализ влияния различных стратегий выбора и обхода активных TLAS в шейдерах на итоговую производительность и разработку специализированных алгоритмов для минимизации накладных расходов.

– Оптимизацию управления памятью для минимизации избыточности при использовании множественных TLAS.

Другим перспективным направлением развития подхода с мульти-TLAS является интеграция с системами управления видимостью на уровне движка сцены. Путём использования информации из графа сцены и систем пространственного индексирования (например, BVH, Octree, зон видимости порталов и комнат), можно заранее определить минимально необходимое множество TLAS для обработки текущего кадра. Это позволяет дополнительно сократить объём данных, передаваемых на GPU, и уменьшить нагрузку на трассировку. Интеграция мульти-TLAS в движки рендеринга требует координации между CPU и GPU, особенно в аспектах синхронизации буферов, управления состоянием объектов и обновления структур ускорения в реальном времени.

В будущем интерес может представлять реализация автоматических систем кластеризации с применением алгоритмов машинного обучения. Такие системы смогут адаптивно формировать кластеры на основе анализа предыдущих кадров, предсказывать области интереса камеры или игрока

и, соответственно, заранее подготавливать необходимые TLAS. Это особенно актуально для игр с открытым миром, где высокая степень свободы перемещения пользователя делает традиционные методы предвыборки данных неэффективными. Исследование таких интеллектуальных систем управления сценами может привести к значительным улучшениям как в производительности рендеринга, так и в экономии ресурсов GPU.

Список использованных источников:

1. Handling Billions of Triangles: NVIDIA RTX Mega Geometry Now Available with New Vulkan Samples // NVIDIA Developer Blog. – 2024 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://developer.nvidia.com/blog/nvidia-rtx-mega-geometry-now-available-with-new-vulkan-samples/ – Дата доступа: 02.04.2025.

2. Vulkan Ray Tracing Specification. Khronos Group. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://registry.khronos.org/vulkan/specs/1.3-extensions/man/html/VK_KHR_ray_tracing_pipeline.html – Дата доступа: 30.03.2025.

3. Kajiya, J. T. The rendering equation // ACM SIGGRAPH Computer Graphics. – 1986. – Vol. 20. – №. 4. – Pp. 143-150.

4. Majercik, A., Crassin, C., Shirley, P., McGuire, M., & Luebke, D. Neural Radiance Cache for Real-Time Global Illumination // NVIDIA Technical Brief. – 2021 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://github.com/NVIDIA-RTX/RTXGI/blob/main/Docs/NrcGuide.md – Дата доступа: 03.04.2025.

5. Wald, I., Ize, T., Kensler, A., Knoll, A., & Parker, S. Ray tracing deformable scenes using dynamic bounding volume hierarchies // ACM Transactions on Graphics (TOG). – 2007. – Vol. 26. – №. 1. – P. 6.

UDC 004.925.3

OPTIMIZATION OF PATH TRACING IN VULKAN VIA SPATIAL GEOMETRY CLUSTERING AND TLAS SPLITTING

Akimenko A.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Yarmolik V.N. – Doctor of Technical Sciences, professor

Annotation. This arcticle investigates a performance optimization method for path tracing of large-scale 3D scenes using the Vulkan graphics API and its ray tracing extensions (VK_KHR_ray_tracing_pipeline). An approach based on spatial clustering of scene geometry and building multiple top-level acceleration structures (TLAS) instead of a single monolithic one is proposed. The advantages of this method are analyzed in terms of reducing TLAS build/update costs, improving data locality during traversal, and enabling efficient culling of invisible scene parts. Implementation aspects in Vulkan and the potential impact on overall rendering performance are discussed.

Keywords. Path tracing, Vulkan, ray tracing, acceleration structures, TLAS, BLAS, rendering, 3D graphics, GPU optimization, large-scale scenes, geometry clustering, culling, VK_KHR_ray_tracing_pipeline, VK_KHR_acceleration_structure, GPU memory management.

УДК 004.42

КЛАССИФИКАЦИЯ ВИДОВ ТРАНСПОРТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКУСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ

Януцевич Д.В., Марковский И.М.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Леванцевич В.А. – ст. преподаватель

Аннотация. Рассматривается система классификации уличных видов транспорта на основе одномерной сверточной нейронной сети. Исследована эффективность использования спектрограммы, мел-спектрограммы и мел-частотных кепстральных коэффициентов (МЧКК) в качестве признаков для классификации транспорта. Для имитации реальных городских условий дорожных ситуаций использована аугментация данных во временной и частотно-временной областях.

Ключевые слова: Классификация, сверточная сеть, спектрограмма, мел-спектрограмма, МЧКК, аугментация.

Акустические системы классификации представляют ряд преимуществ перед системами, основанными на зрении (vision-based systems), особенно в контексте классификации уличных видов транспорта, где методы, основанные на зрении, неэффективны. В городских условиях возможность контролировать и классифицировать транспортные средства по звуку обеспечивает экономически эффективную альтернативу сетям камер, особенно в ночное время или во время неблагоприятных погодных условий.

Предлагаемая система фокусируется на классификации следующих видов транспортных средств: легковые автомобили, автобусы, троллейбусы, трамваи, метро. В отдельный класс («Иное») был вынесен случай отсутствия транспорта на дороге.

Извлекаемые акустические признаки

Акустическая классификация транспортных средств основана на извлечении информативно-значимых акустических признаков из аудиосигналов. Для исследования эффективности определенного вида признаков исследовались три наиболее распространенных способа представления аудиосигналов в виде: спектрограммы, мел-спектрограммы (спектрограммы в шкале мелов) и мел-частотных кепстральных коэффициентов (МЧКК).

Спектрограмма получается путем применения кратковременного преобразования Фурье (КВПФ) к исходному сигналу. Сигнал предварительно разделяется на небольшие отрезки (окна) и взвешиваются при помощи оконной функции (чаще окном Хэмминга). Затем к каждому окну применяется быстрое преобразование Фурье. Размер спектрограмм превышает другие рассматриваемые частотно-временные представления, и это может сказаться на эффективности работы системы, т.к. необходимо рассматривать больший объем данных. Несмотря на это, спектрограммы дают четкое представление о распределении энергии (рисунок 1а) по диапазонам частот [1].

В это же время мел-спектрограмма лучше отражает распределение энергии в частотно-временном представлении (рисунок 1б). Мел-спектрограмма получается путем наложения на спектрограмму фильтров треугольной формы, которые используются для усреднения спектра вблизи центральных частот, расположенных равномерно в шкале мелов [2]. Анализ мел-спектрограмм звука двигателя автомобиля показывает, что энергия звукового сигнала распространяется на широкий частотный диапазон. Мел-спектрограмма богаче текстурой, область концентрации энергии сигнала имеет более сложную геометрическую структуру, что делает мел-спектрограмму подходящей под задачу акустическим признаком [3].

МЧКК широко используются в процессе извлечения признаков за счет их декоррелирующего свойства. Декорреляция достигается путем применения дискретного косинусного преобразования (ДКП) к логарифму мел-спектрограммы. К тому же при анализе обычно из всех МЧКК выбираются первые 13-20 коэффициентов, что делает их эффективными в качестве входных данных системы классификации [4].

Однако МЧКК очень чувствительны к фоновым шумам, в то время как спектрограмма, полученная с использованием КВПФ, может использоваться даже для аудиообразцов, имеющих шумы, и обеспечивает более эффективные результаты.

Для разрабатываемой системы классификации были выбраны следующие значения параметров, используемых при выделении акустических признаков: частота дискретизации сигнала – 22.05 кГц, размер окна – временных отсчета, временной шаг – 512 временных отсчетов, количество мелов – 128.

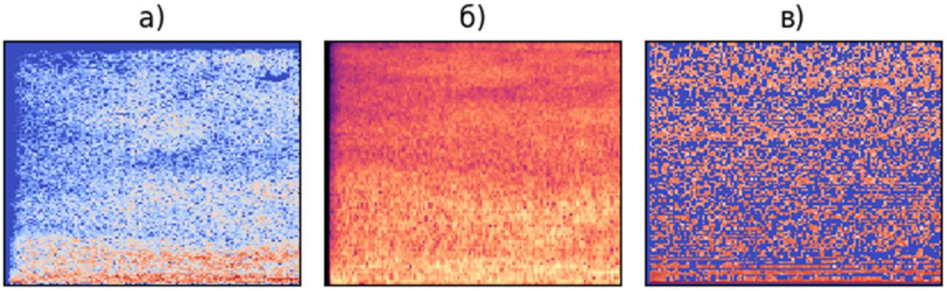


Рисунок 1 – Пример акустических признаков: а – спектрограмма, б – мел-спектрограмма, в – мел-частотные кепстральные коэффициенты

Задача классификации звука можно рассматривать близкой к задаче классификации изображений, поэтому многие подходы анализа изображений применимы к этой задаче. Для классификации звуков хорошо подходят сверточные нейронные сети. Они способны определять частотные характеристики различных источников звука во времени, даже если часть звука перекрывается другими источниками [5].

Сбор данных для обучения нейронной сети

В качестве устройства аудиозаписи был выбран телефон iPhone 11, частота дискретизации аудиозаписей – 44.1 кГц. Запись производилась в течение 12 дней в городских условиях. Средняя температура воздуха составляла -1°C, средняя скорость ветра – 7 м/с.

После записи аудио и ручного отбора файлов было собрано 668 записей, общей длительностью в 73 мин. Из них примерно 35% относится к классу «Машина», 30% – к классу «Иное», 15% – к классу «Трамвай». Остальные классы – «Автобус», «Троллейбус», «Метро» – составили по 6% от всей обучающей выборки.

Подготовка данных для обучения

Из-за того, что собранные записи имеют разную длину (что не является приемлемым для обучения нейронной сети), записи были разделены на равные отрезки в 2.0 сек. При этом необходимо отметить, что при недостатке аудиоданных в файле для создания очередного отрезка они не дополнялись нулями в конце или начале (как это делается в специализированных библиотеках для расчета аудиопризнаков), а с целью избежания потери данных выбирались отрезки с перекрытием в 1.5 сек. Таким образом максимально возможная потеря данных становится меньше, т.к. в таком случае шаг выбора отрезка составляет 0.5 сек.

После разделения файлов на отрезки равной длительности они подвергались разделению на три набора данных, используемых при обучении:

1. Тренировочный набор (training set) – непосредственно используется для обучения модели и изучения скрытых особенностей/закономерностей в данных.
2. Валидационный набор (validation set) – настраивает гиперпараметры (например, скорость обучения) и предотвращает переобучение.
3. Тестовый набор (testing set) – используется для итоговой оценки модели после завершения обучения.

Было выбрано разделение наборов в соотношении 70:15:15 [6].

Расширение обучающей выборки

Так как распределение отрезков по классам не является равномерным и не все они отражают возможные реальные ситуации (например, ускорение автомобиля), обучающая выборка была расширена путем применения аугментации данных. Аугментация позволяет улучшить результаты обучения модели путем формирования новых образов [7].

Аугментация применялась в двух представлениях: во временном (модификация исходного сигнала) и частотно-временном (модификация спектрограммы). Во временном представлении использовались следующие подходы: сдвиг высоты тона, усиление, добавление шума. В частотно-временном представлении использовались следующие методы: случайное стирание, частотное и временное маскирование, размытие [8-10].

Для задачи классификации транспорта изменение высоты тона может позволить не только охватить более широкий спектр частот транспорта (например, для имитации звука разных двигателей или скоростей), но и сымитировать разные состояния транспорта (например, ускорение, замедление) [11].

Усиление сигнала используется с целью имитации разных уровней слышимости. Если коэффициент усиления непостоянный, такое усиление может позволить сымитировать ситуацию приближения или отдаления транспорта к записывающему устройству. Добавление шума происходит с целью устойчивости системы к естественным шумам, может использоваться для имитации шума улицы, различных условий окружающей среды.

С целью имитации реальных условий для изменения высоты тона и усиления был реализован механизм изменяющихся параметров аугментации. Это означает, что для аугментации высота тона или коэффициент усиления может изменяться по определенному закону. Пример сценария изменения параметра представлен на рисунке 2а. На рисунке изображены сценарии изменения высоты тона или усиления в положительном направлении – от 0 до 1. Стоит отметить, что изменение также может происходить в отрицательном направлении (значения от -1 до 0) или в обоих направлениях (значения от -1 до 1). К тому же сценарии изменения могут вести и к росту, и к убыванию параметра изменения. Сценарий с убыванием параметра изменения представлен на рисунке 2б.

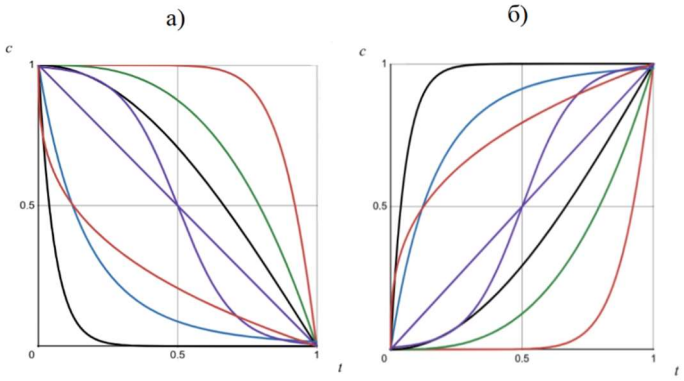


Рисунок 2 – Сценарии изменения параметров аугментации: а – с убыванием параметра, б – с возрастанием параметра

На рисунке 3 представлены примеры аугментации данных в разных представлениях. На рисунке 3б высота тона изменяется динамически в форме половины периода синуса, амплитуда изменения – 6 полутонов. На рисунке 3в случайным образом были маскированы диапазон в 20 частотных бинов и 10 временных окон.

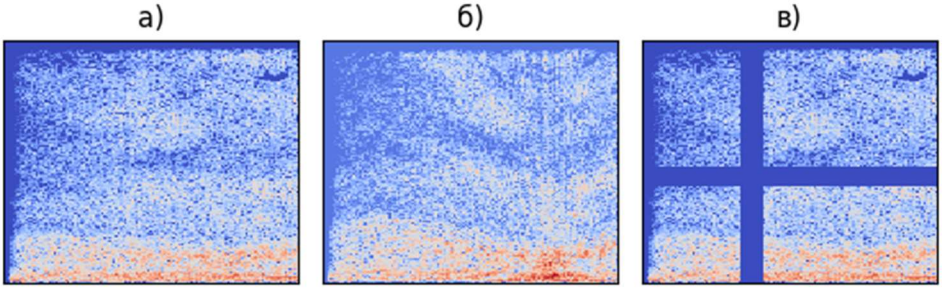


Рисунок 3 – Спектрограмма сигнала; а – исходный сигнал, б – динамичное изменение высоты тона, в – частотное и временное маскирование

Архитектура нейронной сети

Для описания структуры модели и ее обучения были выбраны язык программирования Python и фреймворк для машинного обучения PyTorch. За основу была взята архитектура модели из четырех сверточных слоев. После всех сверточных слоев также следует четыре полносвязных слоя (Dense layer) [12].

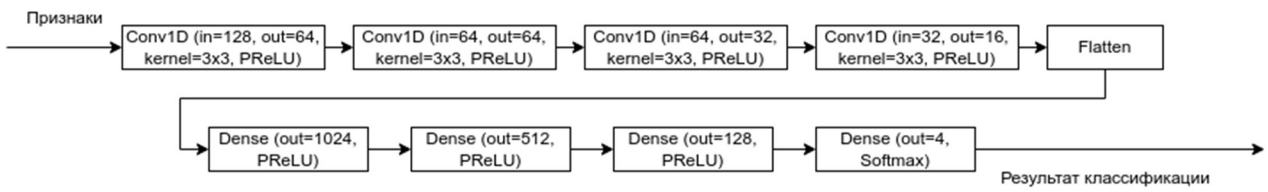


Рисунок 4 – Архитектура модели

После экспериментов с параметрами модели наиболее эффективной оказалась модель с функцией активации PReLU и пакетной нормализацией. Была использована регуляризация путем исключения нейронов с вероятностью 0,2. Модель обучалась с максимальным количеством эпох в 50,

максимальное количество эпох без улучшения обучения модели (patience) – 8. Минимальная «скорость обучения» (learning rate) – 0,001, используемый оптимизатор – Adam.

Результаты обучения модели

Ниже приведены результаты обучения модели с использованием мел-спектрограммы в качестве акустического признака. Ранее были отмечены особенности разделения аудиоотрезков по разным наборам данных, используемых при обучении. Точность модели со «строгим» разделением данных на тренировочном наборе оказалась равной 85,2%, значение функции потерь – 0,46. Как и ожидалось, точность модели с «нестрогим» разделением аудиоотрезков оказалась выше – 95,4%. И, соответственно, значение функции потерь оказалось ниже – 0,16.

В связи с тем, что звук двигателей автобусов и троллейбусов схож со звуком некоторых автомобилей, было принято решение объединить классы «Легковой автомобиль», «Автобус» и «Троллейбус». Таким образом, точность модели, предсказывающей четыре класса транспорта, со «строгим» разделением данных на тренировочном наборе оказалась равной 93,2%, значение функции потерь – 0,24. Точность модели с «нестрогим» разделением аудиоотрезков оказалась равной 97,2%, значение функции потерь – 0,08.

Тестирование программного средства

С целью тестирования приложения в реальном времени было реализовано программное средство, которое использует микрофон в качестве источника данных для аудиопотока и вычисляет акустические параметры, которые используются моделью для предсказания класса. Предсказание осуществляется каждые 250 мс и отображает результаты предсказания на временной шкале.

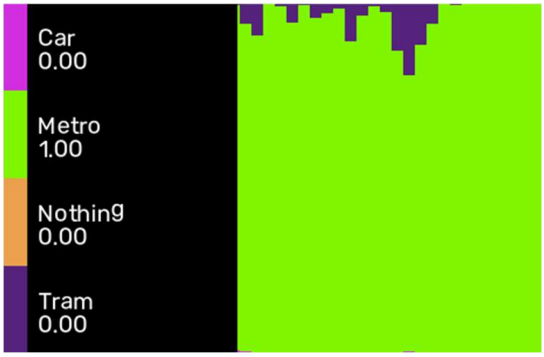


Рисунок 5 – Внешний вид программного средства

В качестве записывающего устройства при тестировании использовался телефон, при помощи которого производилась запись обучающей выборки, что дало возможность в полной мере оценить результат обучения. Для того, чтобы телефон можно было использовать в качестве микрофона, использовалось программное средство WO MIC.

Выводы об эффективности акустических признаков приведены для моделей, обученных на «строго» разделенных данных с объединением классов «Автобус», «Троллейбус» и «Легковой автомобиль». Тестирование в режиме реального времени показало, что наиболее эффективным акустическим признаком оказалась мел-спектрограмма, так как модель, обученная на этом признаке, дает более детерминированный результат.

Список использованных источников:

1. Cheng K.W., Chow H.M., Li S.Y., Tsang T.W., Ng H.L.B., Hui C.H., Lee Y.H., Cheng K.W., Cheung S.C., Lee C.K. Spectrogram-based classification on vehicles with modified loud exhausts via convolutional neural networks [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2023.109254 – Дата доступа: 07.02.2025

2. Вашкевич М.И., Бурак А.А., Конойко Н.С., Долдова В.С. Анализ акустических параметров голоса для выявления заболеваний гортани [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://inf.grid.by/jour/article/view/893/938 – Дата доступа: 12.02.2025

3. Wu Z., Wan Z., Ge D., Pan L. Car engine sounds recognition based on deformable feature map residual network [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8854583/ – Дата доступа: 07.02.2025

4. Gourisaria M.K., Agrawal R., Sahni M., Singh P.K. Comparative analysis of audio classification with MFCC and STFT features using machine learning techniques [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://link.springer.com/article/10.1007/s43926-023-00049-y – Дата доступа: 09.02.2025

5. Salamon J., Bello J.P. Deep Convolutional Neural Networks and Data Augmentation for Environmental Sound Classification [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://arxiv.org/pdf/1608.04363 – Дата доступа: 07.02.2025

6. Train Test Validation Split: How To & Best Practices [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.v7labs.com/blog/train-validation-test-set – Дата доступа: 20.02.2025

7. Alomar K., Aysel H.I., Cai X. Data Augmentation in Classification and Segmentation: A Survey and New Strategies [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.mdpi.com/2313-433X/9/2/46 – Дата доступа: 15.02.2025

8. Zhong Z., Zheng L., Kang G., Li S., Yang Y. Random Erasing Data Augmentation [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://arxiv.org/pdf/1708.04896 – Дата доступа: 15.02.2025

9. Daniel S. Park, William Chan, Yu Zhang, Chung-Cheng Chiu, Barret Zoph, Ekin D. Cubuk, Quoc V. Le. SpecAugment: A Simple Data Augmentation Method for Automatic Speech Recognition [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://arxiv.org/pdf/1904.08779 – Дата доступа: 16.02.2025

10. Halvdansson S. On a Time-frequency Blurring Operator With Applications In Data Augmentation [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://arxiv.org/pdf/2405.12899 – Дата доступа: 18.02.2025.

11. Mešić A. Evaluating the Use of Pitch Shifting to Improve Automatic Speech Recognition Performance on Southern Dutch Accents [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://repository.tudelft.nl/record/uuid:f1f54596-adbc-436a-87ac-a40394689b92 – Дата доступа: 16.02.2025

12. Ashhad M., Goenka U., Jagetia A., Akhtari P., Ambat S.K., Samuel M. Improved Vehicle Sub-type Classification for Acoustic Traffic Monitoring [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://arxiv.org/pdf/2302.02945 – Дата доступа: 21.02.2025

UDC 004.42

STREET VEHICLE TYPE CLASSIFICATION BASED ON ACOUSTIC FEATURES

Yanutsevich D.V., Markouski I.M.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Levantsevich V.A. – senior lecturer

Annotation. A system for classifying street vehicles based on a one-dimensional convolutional neural network is developed. The effectiveness of spectrograms, mel-spectrograms, and mel-frequency cepstral coefficients (MFCC) as features for vehicle classification task is investigated. To simulate such situations, data augmentation in time and time-frequency domains is used.

Keywords. Classification, convolutional network, spectrogram, mel-spectrogram, MFCC, augmentation.

УДК 004.935.3

МЕТОДЫ ГЕНЕРАЦИИ ТОЧЕК НА ПОВЕРХНОСТИ ПОЛУСФЕРЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В АЛГОРИТМАХ С ТРАССИРОВКОЙ ЛУЧЕЙ

Сакун И.Ю., Красковский П.Н.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроник
г. Минск, Республика Беларусь

Красковский П.Н. – ст. преподаватель

Аннотация. В статье рассмотрены различные методы генерации точек на поверхности полусферы, которые могут быть использованы в алгоритмах визуализации с использованием трассировки лучей. Представлен сравнительный анализ методов генерации точек на поверхности полусферы на примере вычисления окружающего затенения.

Ключевые слова. Уравнение рендеринга, метод Монте-Карло, равномерное распределение, решетка Фибоначчи.

Введение. Главной задачей визуализации трехмерной сцены является вычисление уравнения рендеринга [1] для каждой точки поверхности, видимой на экране:

$$L_o(v) = L_e(v) + \int_{\Omega} f_r(v,l) \cdot L_i(l) \cdot cos(\theta) \cdot d\omega, \tag{1}$$

где $L_o(v)$ – яркость точки поверхности в направлении v; $L_e(v)$ – яркость света, излученного самой поверхностью; $f_r(v,l)$ – двулучевая функция отражательной способности; $L_i(l)$ – яркость света, падающего на поверхность; θ – угол между нормалью к поверхности и направлением l.

На рисунке 1 представлена иллюстрация уравнения рендеринга.

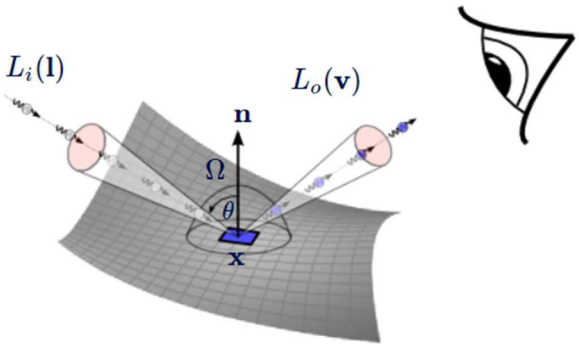


Рисунок 1 – Иллюстрация уравнения рендеринга

При переходе от телесного угла к сферическим углам уравнение рендеринга принимает следующий вид:

$$L_o(v) = L_e(v) + \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} f_r(v,l) \cdot L_i(l) \cdot cos(\theta) \cdot sin(\theta) \cdot d\theta \cdot d\varphi. \tag{2}$$

Метод Монте-Карло. Поскольку на значения функции $L_i(l)$ может влиять множество различных факторов, вычисление интеграла из уравнения рендеринга необходимо выполнять численно, например, методом Монте-Карло. Решение интеграла методом Монте-Карло имеет следующий общий вид:

$$\int_a^b f(x) \cdot dx \approx \frac{1}{N} \sum_{n=1}^{N} \frac{f(x_n)}{p(x_n)}, \tag{3}$$

где x_n – некоторая случайная величина на отрезке $[a,b]$; $p(x)$ – плотность вероятности случайной величины.

Для ускорения сходимости интеграла необходимо выбирать значения x_n таким образом, чтобы значение $f(x_n)$ давало наибольший вклад в сумму. Для этого необходимо задать такое распределение случайной величины, при котором плотность вероятности $p(x)$ похожа на функцию $f(x)$. Такой метод выбора случайных значений функции $f(x)$ в методе Монте-Карло называется выборкой по значимости.

Также стоит отметить, что выбор случайной точки на поверхности полусферы зависит от случайного выбора углов φ и θ, поэтому распределение точек необходимо рассматривать как совместное распределение φ и θ.

Ниже рассмотрены наиболее распространенные методы распределения точек на поверхности полусферы.

Равномерное распределение. Наиболее простым методом генерации точек на полусфере является выбор случайных углов φ и θ с равномерным распределением.

Функция совместной плотности вероятности для равномерного распределения [2]:

$$p(\varphi, \theta) = \frac{1}{\pi/2} \cdot \frac{1}{2\pi} = \frac{1}{\pi^2}. \quad (4)$$

Функции распределения φ и θ примут следующий вид:

$$F(\varphi) = \frac{\varphi}{2\pi}, \quad (5)$$

$$F(\theta) = \frac{2\theta}{\pi}. \quad (6)$$

Для генерации φ и θ с заданными ограничениями необходимо вычислить обратные функции распределения и применить метод обратного преобразования. При этом обратные функции распределения примут следующий вид:

$$\varphi = 2\pi \cdot u, \quad (7)$$

$$\theta = \frac{\pi}{2} \cdot v. \quad (8)$$

где u и v – равномерные случайные величины на отрезке .

На рисунке 2 представлена визуализация равномерного распределения.

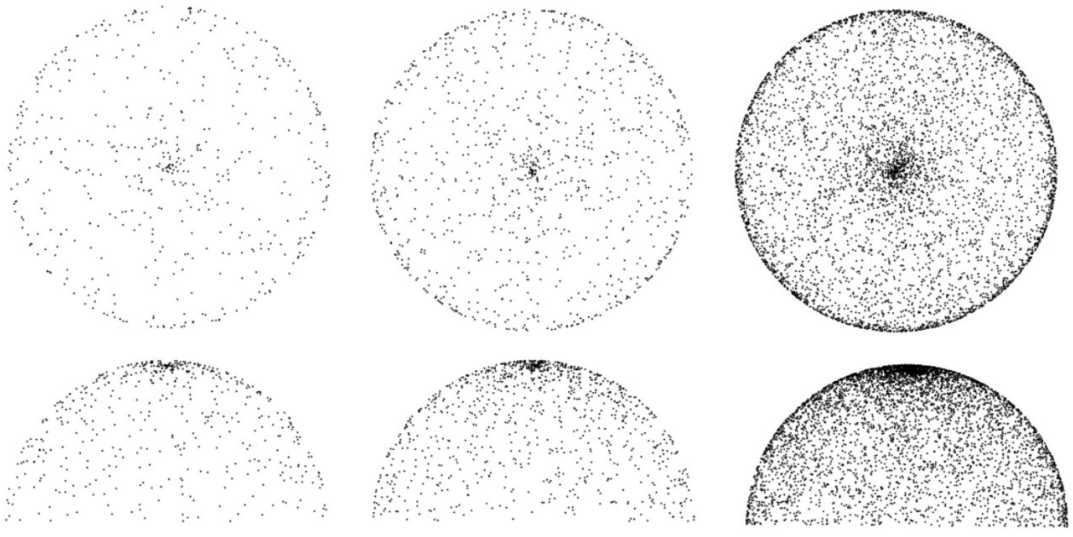


Рисунок 2 – Генерация точек на поверхности сферы с равномерным распределением (500 точек, 1000 точек, 5000 точек)

Из рисунка 2 видно, что большинство точек расположено ближе к полюсу, поэтому данное распределение подойдет для функций, которые дают наибольшие значения на полюсе полусферы.

Синусное распределение. Функция совместной плотности синусного распределения [2] имеет следующий вид:

$$p(\varphi,\theta) = \frac{1}{2\pi} \cdot sin(\theta). \quad (9)$$

Функции распределения φ и θ:

$$F(\varphi) = \frac{\varphi}{2\pi}, \quad (10)$$

$$F(\theta) = 1 - cos(\theta). \quad (11)$$

Обратные функции распределения:

$$\varphi = 2\pi \cdot u, \quad (12)$$

$$\theta = arccos(1 - v). \quad (13)$$

На рисунке 3 представлена визуализация синусного распределения.

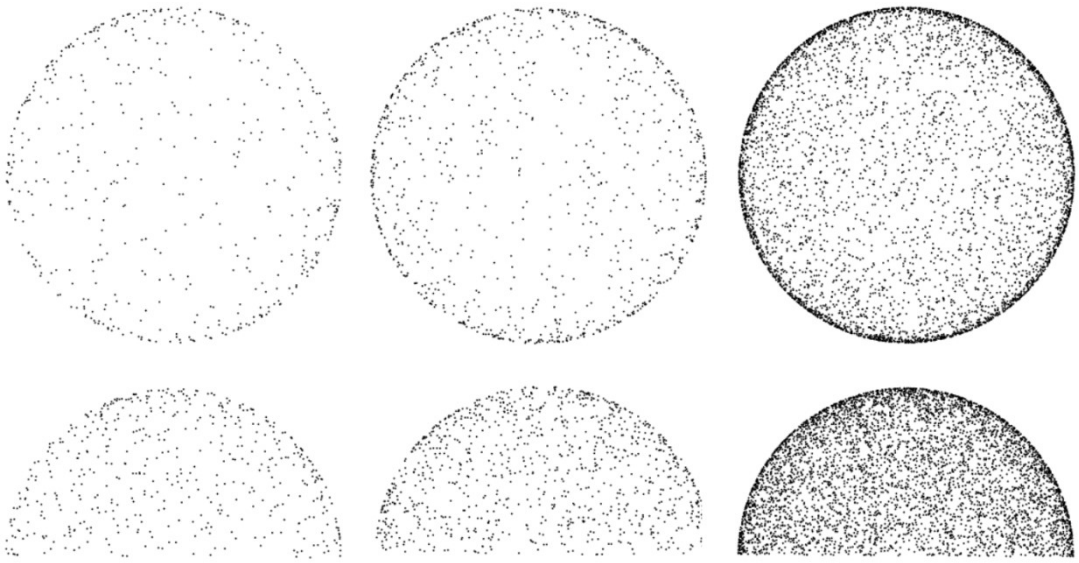


Рисунок 3 – Генерация точек на поверхности сферы с синусным распределением (500 точек, 1000 точек, 5000 точек)

Из рисунка 3 видно, что точки располагаются равномерно по всей поверхности полусферы. Такое распределение подойдет для функций, дающих одинаковое значение в любом из направлений.

Синусно-косинусное распределение. Функция совместной плотности синусно-косинусного распределения [2] имеет следующий вид:

$$p(\varphi,\theta) = \frac{1}{\pi} \cdot sin(\theta) \cdot cos(\theta). \quad (14)$$

Функции распределения φ и θ:

$$F(\varphi) = \frac{\varphi}{2\pi}, \quad (15)$$

$$F(\theta) = sin^2(\theta). \quad (16)$$

Обратные функции распределения:

$$\varphi = 2\pi \cdot u, \quad (17)$$

$$\theta = arcsin\left(\sqrt{v}\right). \quad (18)$$

На рисунке 4 представлена визуализация синусно-косинусного распределения.

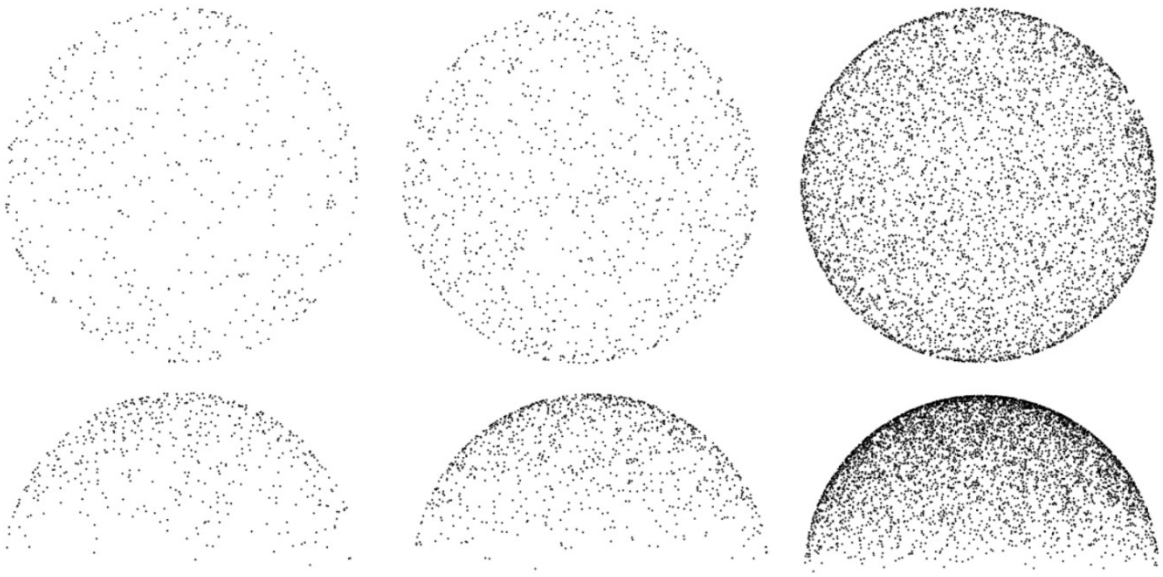


Рисунок 4 – Генерация точек на поверхности сферы с синусно-косинусным распределением (500 точек, 1000 точек, 5000 точек)

Из рисунка 4 видно, что плотность точек уменьшается по мере приближения к экватору, поэтому данное распределение подойдет для функций, дающих наибольшие значения между полюсом и экватором.

Решетка Фибоначчи. На рисунках 2-4 можно обратить внимание на то, что при небольшом количестве точек на поверхности полусферы имеются области с низкой плотностью точек, что негативно сказывается на сходимости интеграла. В контексте визуализации трехмерных сцен с применением трассировки лучей высокое расхождение точек на интегрируемой полусфере негативно сказывается на качестве получаемого изображения. Повышение количества генерируемых точек улучшает сходимость интегрирования, однако приводит к высоким потерям производительности.

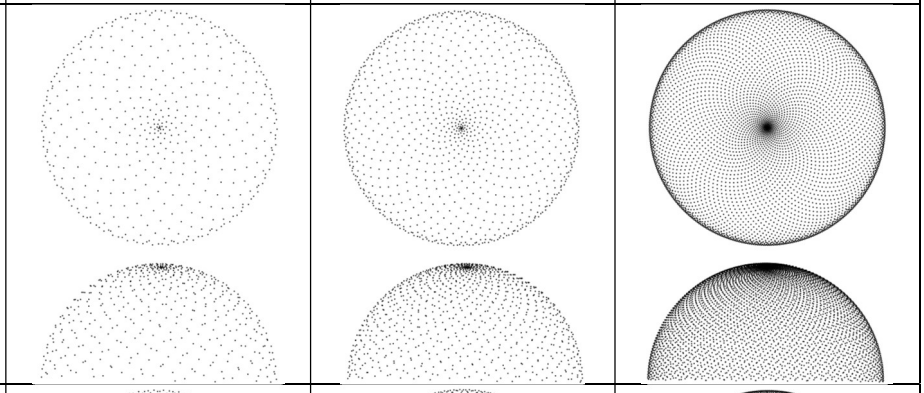
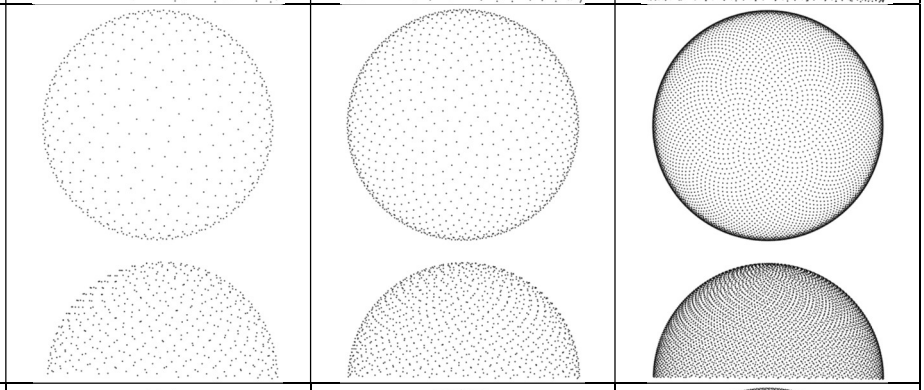
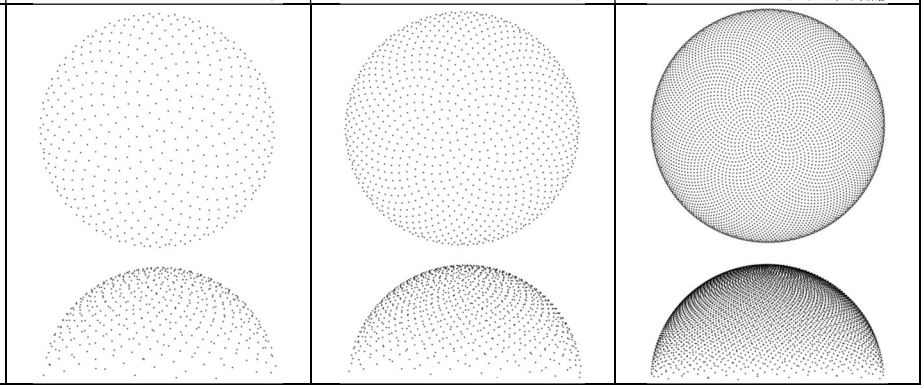
Для улучшения сходимости интеграла при небольшом количестве точек необходимо заменить генератор псевдослучайной последовательности на генератор последовательности с низким расхождением, также называемой квазислучайной последовательностью. Одной из таких последовательностей является решетка Фибоначчи [3]. Для двумерного случай решетка Фибоначчи задается следующим образом:

$$(x_i, y_i) = \left(\frac{i+1}{\phi} mod 1, \frac{i+0{,}5}{n}\right), \tag{19}$$

где n – количество точек; $\phi = \frac{1+\sqrt{5}}{2}$; $i = 0,1,2,\dots,n$.

В таблице 1 представлена визуализация решетки Фибоначчи с различными распределениями. Из таблицы видно, что расстояние между соседними точками постоянно по всей площади полусферы. Решетка Фибоначчи обеспечивает более равномерное заполнение полусферы небольшим количеством точек, что положительно сказывается на производительности и сходимости интеграла.

Таблица 1 – Решетка Фибоначчи на поверхности полусферы с различными распределениями

Распределение	Количество точек		
	500	1000	5000
Равномерное			
Синусное			
Синусно-косинусное			

Сравнительный анализ. На примере вычисления коэффициента окружающего затенения (ambient occlusion) был проведен сравнительный анализ описанных выше распределений. Коэффициент вычисляется путем нахождения соотношения между падающим на поверхность светом с учетом препятствий поблизости и падающим на поверхность светом при полном отсутствии препятствий. Преобразовав уравнение рендеринга (2) для случая окружающего затенения, было получено следующее уравнение:

$$AmbientOcclusionFactor = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi}\int_0^{\pi/2} L_i(l)\cdot cos(\theta)\cdot sin(\theta)\cdot d\theta\cdot d\varphi, \quad (20)$$

где $L_i(l)$ принимает значение 1, если луч пересекается с препятствием на некотором расстоянии d от поверхности, и 0, если препятствия нет.

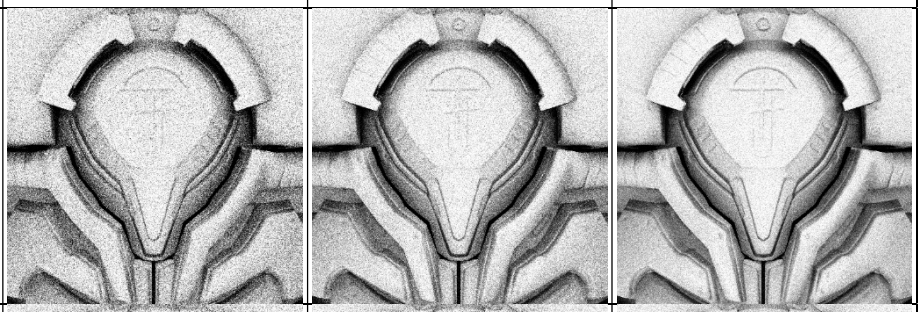
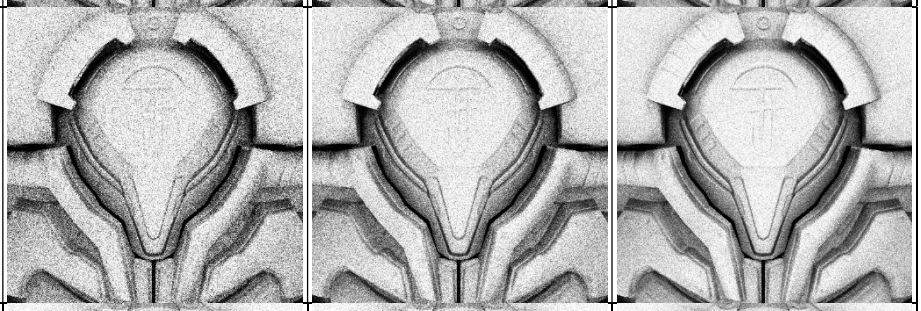
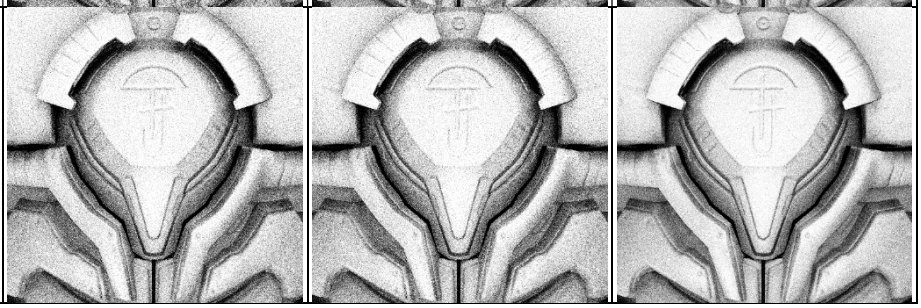
Из уравнения (20) можно сделать вывод, что наилучшим распределением для вычисления окружающего затенения является синусно-косинусное распределение, плотность вероятности (14) имеет такую же форму, как и полученное уравнение рендеринга (20).

В таблице 2 представлен сравнительный анализ различных распределений с использованием псевдослучайной последовательности для генерации углов φ и θ.

Из таблицы 2 видно, что синусно-косинусное распределение действительно показало наилучший результат по сравнению с другими распределениями. Результат, полученный с помощью синусно-косинусного распределения, имеет меньше шумов на светлых участках при любом количестве лучшей.

Также стоит отметить, что синусно-косинусное распределение имеет более значительное улучшение результата при увеличении количества лучей по сравнению с другими распределениями.

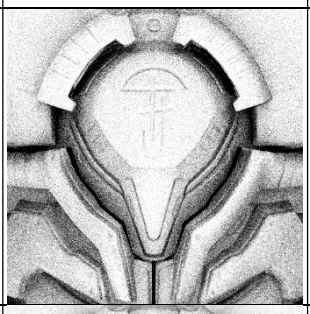
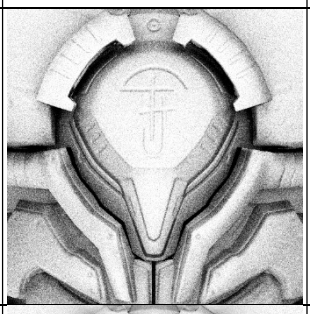
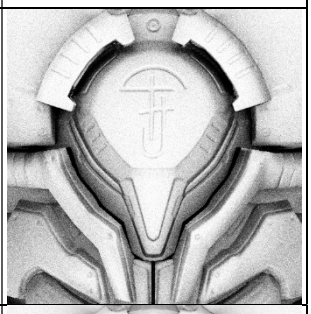
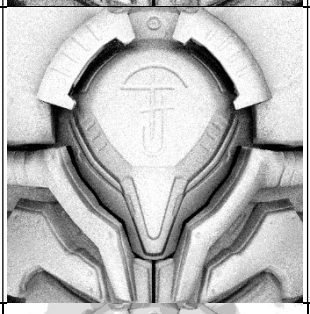
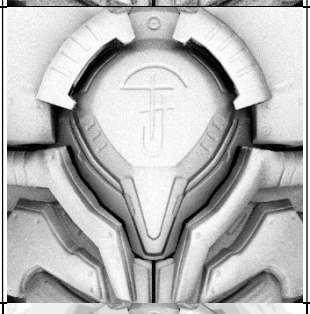
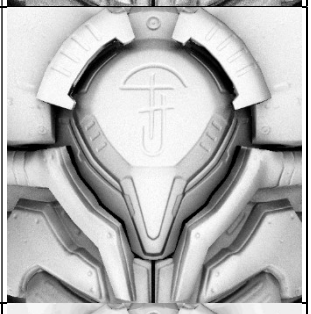
Таблица 2 – Сравнительный анализ распределений, псевдослучайная последовательность

Распределение	**Количество лучей**		
	8	**16**	**32**
Равномерное			
Синусное			
Синусно-косинусное			

В таблице 3 представлен сравнительный анализ псевдослучайной последовательности и решетки Фибоначчи на примере синусно-косинусного распределения. Из таблицы видно, что использование решетки Фибоначчи вместо псевдослучайной последовательности приводит к значительному улучшению результата при любом количестве лучей. Решетка Фибоначчи позволяет достигнуть хорошего результата при меньшем количестве лучей, что положительно сказывается на производительности.

Также стоит отметить, что при использовании решетки Фибоначчи крайне важно добавлять некоторое случайное зерно к изначальным номерам точек на каждый пиксель изображения. Случайное зерно обеспечивает случайный поворот решетки вокруг нормали. Использование статического зерна приводит к ступенчатости получаемого затенения, что негативно сказывается на общем визуальном качестве итогового изображения (см. таблицу 3).

Таблица 3 – Сравнительный анализ псевдослучайной последовательности и решетки Фибоначчи

Распределение	**Количество лучей**		
	8	**16**	**32**
Псевдослучайная последовательность			
Решетка Фибоначчи (случайное зерно на каждый пиксель)			
Решетка Фибоначчи (статическое зерно)			

Вывод. В работе рассмотрены различные методы генерации точек на поверхности полусферы. Показана важность выбора распределения при вычислении интегралов методом Монте-Карло. Проведен анализ преимущества использования квазислучайных последовательностей для задач, требующих равномерного заполнения поверхности. Проведен сравнительный анализ теоретических данных на примере вычисления окружающего затенения. Практические результаты полностью соответствуют теоретическим расчетам.

Список использованных источников:

1. Graphics Programming. Light and Materials [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.mathematik.uni-marburg.de/~thormae/lectures/graphics1/graphics_10_1_eng_web.html#1. – Дата доступа: 11.04.2025.

2. Graphics Programming Image-based Lighting [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.mathematik.uni-marburg.de/~thormae/lectures/graphics1/graphics_10_2_eng_web.html#1. – Дата доступа: 11.04.2025.

3. How to evenly distribute points on a sphere more effectively than the canonical Fibonacci Lattice [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://extremelearning.com.au/how-to-evenly-distribute-points-on-a-sphere-more-effectively-than-the-canonical-fibonacci-lattice/. – Дата доступа: 11.04.2025

UDC 004.935.3

METHODS FOR GENERATING POINTS ON THE SURFACE OF A HEMISPHERE USED IN RAY TRACING ALGORITHMS

Sakun I.Y., Kraskovsky P.N.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Kraskovsky P.N. – senior lecturer

Annotation. The paper discusses various methods for generating points on the surface of a hemisphere that can be used in ray tracing visualization algorithms. A comparative analysis of methods for generating points on the surface of a hemisphere is presented using the example of calculating ambient occlusion.

Keywords. Rendering equation, Monte Carlo method, uniform distribution, Fibonacci lattice.

УДК 004.932.2

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ПОДХОДЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СВЁРТОЧНЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ

Птуха В.И.[1], магистрант гр. 356241

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники[1]
г. Минск, Республика Беларусь

Боброва Н.Л. – канд. техн. наук, доцент

Аннотация. В условиях стремительного роста объёмов визуальной информации и широкого распространения цифровых изображений возрастает потребность в эффективных методах их анализа и обработки. Современные устройства генерируют колоссальные объёмы графических данных, что делает технологии компьютерного зрения всё более востребованными в различных отраслях – от промышленности до повседневной жизни. Одним из ключевых достижений в этой области стали свёрточные нейронные сети (CNN), продемонстрировавшие высокую эффективность в задачах распознавания образов, классификации изображений и идентификации объектов. Настоящая статья посвящена рассмотрению фундаментальных понятий, принципов работы, а также основных подходов и концепции, используемых при построении архитектуры нейронной сети.

Ключевые слова. Компьютерное зрение, свёрточные нейронные сети, искусственный интеллект, свёртка.

Около 77% современных устройств используют искусственный интеллект в различных формах [1]. По прогнозам, к 2030 году рынок искусственного интеллекта достигнет суммы в размере 1339 миллиардов долларов, что существенно выше показателей 2024 года, оцениваемых в 214 миллиардов долларов. По данным компании IBM, 35% предприятий уже используют искусственный интеллект [3]. Трудно представить современный мир без цифровых изображений, которые стали неотъемлемой частью нашей жизни. Статистика рынка объективов для камер впечатляет – в 2020 году он превысил 8 млрд. долл. и продолжает расти. Прогнозы говорят, что совокупный годовой темп роста в период с 2021 по 2027 год составит 9%. Ожидается, что к 2027 году мировые поставки дойдут до отметки 250 млн. единиц в год [4]. Согласно отчётам, в секунду на Instagram загружается 1074 фотографии [5]. Постоянно увеличивается спрос на высокопроизводительные объективы для камер автомобильной промышленности, бытовой технике. Этот взрывной рост подчёркивает важность и востребованность цифровых изображений в нашей современной жизни.

Большинство устройств, начиная от смартфонов и заканчивая камерами наблюдения, постоянно генерируют огромные объемы цифровых графических данных. В этом контексте, задачи анализа и обработки изображений становятся более актуальными и требуют развития новых подходов и технологий.

В свете этих вызовов и трендов, анализ и обработка изображений становятся важнейшими компонентами, требующими инновационных подходов и технологий. За последнее десятилетие нейронные сети, а особенно свёрточные нейронные сети, стали настоящим прорывом в области анализа изображений. Мощные алгоритмы обработки данных, вдохновлённые биологической природой зрения, смогли добиться значительных результатов в задачах, которые изначально казались непреодолимыми для компьютеров [6].

Анализ и обработка изображений с использованием нейросетей представляют собой одну из наиболее перспективных областей в современном машинном обучении. При этом необходимо глубокое понимание того, как работают свёрточные нейронные сети, представление о используемых подходах и методах, а также строение популярных архитектур.

Применение нейросетей для анализа изображений получило широкое распространение в различных областях науки, бизнеса и жизни в целом.

Зрение – это крайне сложный и важнейший функциональный механизм. Люди, животные, насекомые используют зрение постоянно что бы ориентироваться в пространстве, анализировать окружающую обстановку, взаимодействовать с окружающим миром. Человеческий мозг обрабатывает и интерпретирует звуки, изображения и другие сенсорные сигналы, опираясь на их частотные характеристики. К примеру, слуховая система человека воспринимает различные частоты звуковых волн, и именно на основе этих частот мозг различает высоту, тембр и другие особенности звуков. Музыкальное восприятие особенно сильно связано с частотным анализом, ведь мелодии, ритмы и гармонии формируются из определённых наборов частот, которые мозг способен распознавать и интерпретировать. Аналогичным образом, в визуальной системе человека частотный анализ играет ключевую роль в распознавании узоров и текстур. Некоторые визуальные структуры состоят из повторяющихся элементов, создающих визуальный ритм или частотный паттерн, который зрительная система эффективно улавливает и использует для анализа окружающего пространства. В целом, частотный анализ в сенсорном восприятии означает способность мозга извлекать важную информацию

из сигналов, исходя из их частотного состава. Это играет фундаментальную роль в нашем понимании и взаимодействии с внешним миром. При переходе к частотной области сигнал представляет собой спектр, состоящий из множества частотных компонентов, каждый из которых имеет свою амплитуду и фазу. Такое представление позволяет глубже понять свойства сигнала: высокочастотные компоненты обычно связаны с мелкими деталями, а низкочастотные – с более плавными, обобщёнными особенностями [7].

Мозг представляет собой систему, состоящую из огромного количества сравнительно простых и медлительных нейронов, выполняющих обработку информации. Чтобы достичь высокой производительности, требуется эффективное распределение вычислительных задач. Зрительная система решает эту задачу с помощью иерархической структуры, распределяя обработку как по пространству, так и по этапам [8].

Пространственное разделение приводит к тому, что нейроны обрабатывают информацию в пределах ограниченных участков зрительного поля (локализация рецептивных полей), а последовательное разделение обеспечивает формирование специализированных областей, каждая из которых отвечает за анализ всё более сложных признаков. Такой подход делает вычисления высокопараллельными и конвейерными. В отличие от мозга, персональные компьютеры обычно обладают одним или несколькими мощными вычислительными ядрами, поэтому подобная степень распараллеливания для них не столь критична. Однако с развитием графических процессоров (GPU) и других специализированных архитектур, параллельный и иерархический характер обработки, присущий мозгу, может стать значительным преимуществом.

Компьютерное зрение используется для тех же целей. Информация, полученная с камер, передаётся программе, которая обрабатывает её соответствующим образом и выдаёт результат.

Использование нейросетей, применяемых для анализа изображений включает в себя широкий спектр задач:

1. Классификация изображений: задача, позволяющая определить принадлежность изображения к определённому классу. В качестве примера можно привести классификацию цифр или букв в mnist (*modified national institute of standards and technology*), классификация предметов или животных на изображении.
2. Обнаружение объектов. Нейронная сеть используется для обнаружения объекта на изображении. При этом определяется местоположение и класс одного или более объектов. Пример: определение человека на фотографии, обнаружение дорожного знака.
3. Сегментация изображений. Нейронная сеть выделяет каждый пиксель изображения с присваиванием ему класса и метки. Такой подход позволяет создавать детальные маски объектов на изображениях.
4. Генерация изображений. Нейросеть создаёт собственное изображение по заданным критериям. Можно задать стиль, в котором должно быть сгенерировано изображение.
5. Распознание рукописного текста. Такие сети, специально разрабатываются для обработки изображений, они имеют свёрточные слои, которые могут выделять фичи на разных уровнях иерархии, что является крайне полезным в анализе изображений.
6. Генеративные модели. В качестве примера можно привести gan (generative adversarial network), позволяющая создавать новые изображения на основе обученных данных.

Анализ временных рядов и видео. На основе свёрточных архитектур можно выполнять анализ временных рядов и видео, что является крайне важным в области видеонаблюдения и анализа движущихся объектов.

Свёрточная нейронная сеть обычно состоит из нескольких типов слоёв, которые работают в согласованной последовательности для анализа и классификации изображений и других данных, имеющих пространственную структуру.

Слой входных данных (input layer) является первым слоем сети и является входной точкой для данных. Размерность слоя для входных данных определяется размерами изображения. Если на вход подаётся цветное изображение размером 300x300 пикселей, то размерность входного слоя будет равна 270000 (300*300*3) то есть равно произведению ширины, высоты и количеству каналов. Количество каналов входных данных определяется типом данных, цветные изображения обычно имеют три канала, черно-белые изображения – один канал, трехмерные медицинские изображения могут содержать большее количество каналов. Цифровое изображение представляется в виде набора пикселей, каждый пиксель при этом характеризуется значениями интенсивности соответствующих каналов. Интенсивность каждого канала описывается целым числом от 0 до 255. Цветные изображения состоят из RGB (red, green, blue) пикселей, содержащих яркости по красному, зелёному и синему каналу. Комбинации этих цветов позволяют отразить любой цвет из спектра.

Входной слой принимает данные в виде тензоров, которые представляют собой многомерные массивы, иными словами – матрицы чисел. Работа с тензорами, а не данными в виде векторов является одним из отличий от сетей прямого распространения. Для цветного изображения это трехмерный тензор, имеющий размерность, соответствующую ширине, высоте и количеству каналов.

Входной слой не выполняет вычислительных операций, а лишь принимает данные и передаёт их далее через свёрточные слои, слои объединения и другие слои нейронной сети.

Входные данные могут быть предварительно обработаны для нормализации значений пикселей в диапазоне от 0 до 1 или от -1 до 1. Также могут выполняться другие операции предварительной обработки, такие как выравнивание размеров изображений.

Свёрточный слой (convolutional layer) является основным элементом свёрточных нейронных сетей. Их используют в анализе изображений и обработке пространственных данных. Они предоставляют множество преимуществ и выполняют ряд важных функций. Свёрточные слои позволяют автоматический извлекать важные признаки из входных данных, таких как края, углы, текстуры, что позволяет моделям самостоятельно определять, какие характеристики важны для задачи. Операция свёртки снижает размерность данных, позволяя обрабатывать изображения с меньшим количеством параметров. В этом случае уменьшение размерности помогает сократить вычислительные требования и уменьшить риск переобучения. Слои работают локально, что означает, что каждый нейрон реагирует на ограниченную область входных данных. Слои обычно обучаются быть инвариантными к небольшим масштабным и пространственным сдвигам объектов на изображениях, что позволяет использовать такие нейросети для распознавания объектов в разных частях изображения. Следовательно нейроны в свёрточных слоях имеют более локальное понимание данных и выделяют локальные особенности. В отличие от полносвязанных слоёв, свёрточные слои имеют относительно небольшое количество параметров, следовательно они менее ресурсоемки и менее подвержены риску переобучения. Так же операции свёртки могут выполняться параллельно, что позволяет использовать вычислительные ресурсы наиболее эффективно и тем самым сократить время обучения нейронной сети [6, 10].

Основными концепциями свёрточных слоёв являются:

1. свёртка *(convolution)* – ключевая операция. её идея состоит в том, что по матрице изображения перемещается фильтр (ядро). движение фильтра происходит шаг за шагом, каждый шаг называется «шагом свёртки». при каждом шаге ядро перемещается на определённое расстояние по горизонтали и (или) вертикали внутри матрицы изображения, и выполняет операцию свёртки на этом участке изображения. фильтр начинает своё движение с верхнего угла входного изображения. при достижении края матрицы ядро смещается на шаг по вертикали, выполняет операцию свёртки, далее продолжает движение по горизонтали. на каждом этапе свёртки значения фильтра умножаются на значения пикселей в матрице изображений. эта операция создаёт новое значение для центрального пикселя в каждом положении фильтра. перемещение ядра осуществляется до тех пор, пока фильтр не пройдет всю высоту изображения. в результате будет сгенерирована новая карта признаков, содержащая в себе информацию о признаках, выделенных фильтром таких как локальные структуры, текстуры, грани, углы. этот процесс позволяет извлекать различные признаки и структуры из изображения, что делает свёрточные слои мощными инструментами для анализа изображений и компьютерного зрения [9].

2. ядро (kernel) – это своеобразный шаблон, матрица весов, определяющая на какие признаки акцентируется внимание во время операции свёртки. часто ядро носит второе название – фильтр. свёрточный слой может иметь несколько фильтров для извлечения разных признаков. к примеру, это могут быть признаки горизонтальных линий, вертикальных или окружностей [14].

3. страйд (stride) – служит для представления смещения ядра на каждом шаге свёртки. величина страйда влияет на размеры выходного изображения [12]. на рисунке 1 показано перемещение ядра при страйде равном 1.

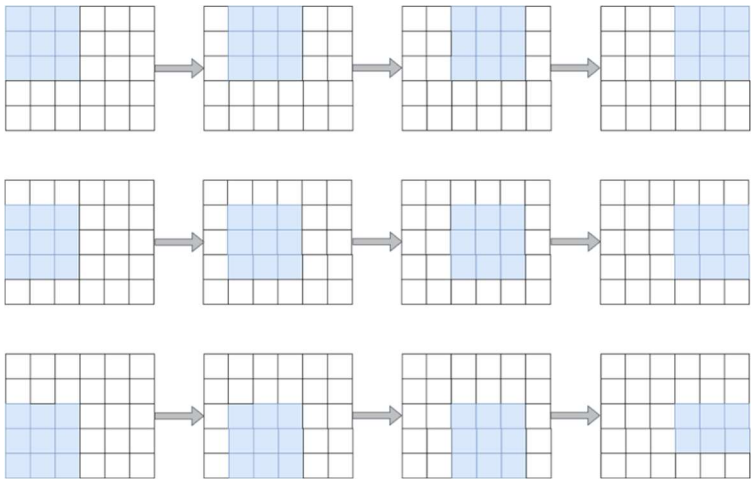


Рисунок 1 – Схема перемещения фильтра со страйдом равным 1

4. дополнение (padding) – нужно для сохранения размерности выходного изображения, учёта информации на краях изображения. существует два основных типа дополнения: дополнение нулями и дополнение копированием. в первом случае нули добавляются вокруг входных данных матрицы изображения. во втором – значения краевых пикселей копируются и добавляются вокруг входных данных [12, 14]. на рисунке 2 показаны варианты дополнения нулями и дополнения копированием.

0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	4	3	0
0	1	2	2	1	2	0
0	1	2	2	2	1	0
0	0	1	2	2	1	0
0	0	1	1	1	1	0
0	0	0	0	0	0	0

А)

1	1	1	1	4	3	3
1	1	1	1	4	3	3
1	1	2	2	1	2	2
1	1	2	2	2	1	1
0	0	1	2	2	1	1
0	0	1	1	1	1	1
0	0	1	1	1	1	1

Б)

Рисунок 2 – А) дополнение нулями Б) дополнение копированием

5. пулинг (pooling) – применяется для уменьшения размерности и агрегации информации в карте признаков, полученных после свёртки. это позволяет сделать признаки более инвариантными к небольшим изменениям в изображении, к примеру маленькое смещение объекта. таким образом, объект на изображении может незначительно изменить своё положение, но при этом оставить свою семантику и внешний вид. тут важно упомянуть про max pooling, который и помогает сделать признаки более независимыми от небольших смещений в пространстве. это важно для задач компьютерного зрения, связанными с классификацией или обнаружением объектов, так как последние в свою очередь могут находиться под разными углами в разных частях изображения [11, 15].

6. канал (channel). так как изображения могут иметь несколько каналов, к примеру rgb (red, green, blue). свёрточные слои способны обрабатывать каждый слой по отдельности [16].

7. выходной размер (output size). на это размер влияют такие параметры как размер входного изображения, размеры фильтра, шаг и использование дополнения [9, 11, 15].

8. смещение (bias). это параметр, который добавляется к взвешенной сумме входных данных в нейроне перед применением функции активации. смещение позволяет управлять смещением или смещением активации нейрона в положительном или отрицательном направлении. положительное смещение говорит о том, что нейрон должен быть активен при низких значениях входных данных. при отрицательном смещении нейрон должен быть активен при высоких значениях. смещение – это отдельный параметр для каждого нейрона в сети. во время обучения нейронной сети алгоритм градиентного спуска также обновляет смещения, чтобы минимизировать ошибку модели и улучшить её производительность [17].

Свёрточный слой представляет из себя набор карт признаков, при этом каждая карта содержит в себе ядро. Необходимое количество карт зависит от постановки задачи и требований. Увеличение числа карт повышает качество распознавания, при этом повышается вычислительная сложность. Обычно в первом свёрточном слое используется небольшое количество фильтров 32 или 64. Эти фильтры помогают извлекать низкоуровневые признаки такие как края и текстуры. Последующие свёрточные слои могут содержать большее количество фильтров 128 для второго слоя и 256 для третьего. Такой подход позволяет модели извлекать более высокоуровневые и абстрактные признаки. В глубоких нейронных свёрточных сетях, может быть, множество слоёв и количество карт в каждом слое может значительно увеличиваться. Для задач классификации, в последнем свёрточном слое или слое перед полносвязанными слоями, количество карт равно количеству классов, которые сеть должна предсказать. При обучении нейронной сети с малым набором данных нужно быть крайне осторожным с увеличением числа карт в свёрточных слоях, так как это может привести к переобучению. В этом случае начинать лучше в меньшего количества карт и постепенно увеличивать их, следя за процессом обучения [12, 13].

На рисунке 3 показан пример свёртки матрицы размером 7x7 при помощи ядра размерами 3x3. При отсутствии дополнения, отсутствием смещения и страйде равном единице на выходе получаем матрицу со значениями:

$$\begin{matrix} -8 & -8 & -4 & -4 & 0 \\ -8 & -4 & -4 & 0 & 4 \\ -4 & -4 & 0 & 4 & 4 \\ -4 & 0 & 4 & 4 & 8 \\ -4 & -4 & 0 & 4 & 8 \end{matrix}$$

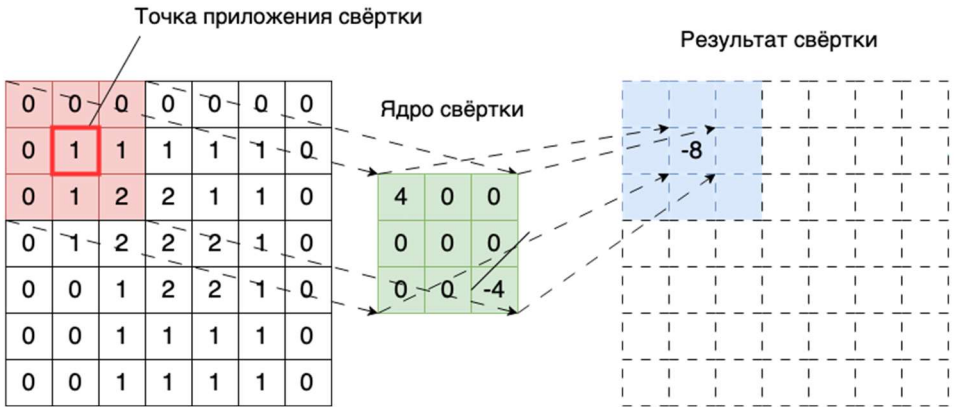


Рисунок 3 – Свёртка матрицы размером 7x7 при помощи ядра размером 3x3

При свёртке изображения с тремя каналами. Мы получим по три матрицы для каждого фильтра. Матрицы, полученные с применением фильтра для каждого канала, суммируются между собой и на выходе получаем один канал выходной карты признаков.

После того, как будут сформированы каналы для каждого из фильтров, матрицы объединяются в единый тензор, благодаря чему на выходе снова получается изображение.

Слой объединения (pooling layer) используется для уменьшения размерности данных и извлечения ключевых признаков из карт признаков, созданных свёрточными слоями. Их главная цель состоит в том, чтобы уменьшить пространственное разрешение карт признаков, сохраняя при этом наиболее важные информационные характеристики. Это позволяет сократить количество параметров сети, а следовательно, уменьшить вычислительную нагрузку, что является важным параметром при работе с нейронными сетями [18].

Существует несколько вариантов операций объединения. Максимальное объединение (max pooling) подразумевает, что выбирается максимальное значение из каждой группы пикселей, попавших в матрицу объединения, перемещающуюся по входящей матрице признаков [15].

$$\begin{matrix} 2 & -4 \\ 5 & 0 \end{matrix}$$

В данном случае будет выбрано значение 5. Данный вариант помогает сохранить наиболее выразительные признаки в каждой области.

Среднее объединение (average pooling) вычисляет среднее значение из каждой группы пикселей в заданной области. При таком подходе итоговое значение для вышеизображенной матрицы будет равным (2 + (-4) + 5 +0) / 4 = 0.75. Такой подход также уменьшает размерность, при этом сохраняя средние значения признаков.

В слоях объединения можно настраивать размер окна объединения (pool size), который определяет размер области, из которой выбирается максимальное или среднее значение. Так же устанавливать шаг, с которым окно объединения перемещается по входным данным. Он контролирует насколько сильно уменьшается размер карт признаков.

Таким образом имея на входе карту признаков размерами 5x5:

$$\begin{matrix} -8 & -8 & -4 & -4 & 0 \\ -8 & -4 & -4 & 0 & 4 \\ -4 & -4 & 0 & 4 & 4 \\ -4 & 0 & 4 & 4 & 8 \\ -4 & -4 & 0 & 4 & 8 \end{matrix}$$

Используя максимальное объединение размерами 2x2 с шагом 1 на выходе, получим следующую карту признаков размерами 4x4:

$$\begin{matrix} -4 & -4 & 0 & 4 \\ -4 & 0 & 4 & 4 \\ 0 & 4 & 4 & 8 \\ 0 & 4 & 4 & 8 \end{matrix}$$

Слои объединения позволяют улучшить инвариантность к масштабу и малым сдвигам объектов, а также уменьшить количество параметров сети. Слои объединения обычно встроены между

свёрточными слоями и их наличие способствует повышению производительности сети в задачах компьютерного зрения.

Полносвязанные слои (fully connected layers). Являются представителями классических нейронных слоёв. Они соединяют все нейроны предыдущего слоя со всеми нейронами текущего слоя. Эти слои выполняют окончательную классификацию и регрессию на основе извлеченных признаков. Количество и расположение полносвязанных слоёв может различаться в зависимости от конкретной архитектуры сети и целей задачи [12]. На рисунке 4 показан пример полносвязанного слоя.

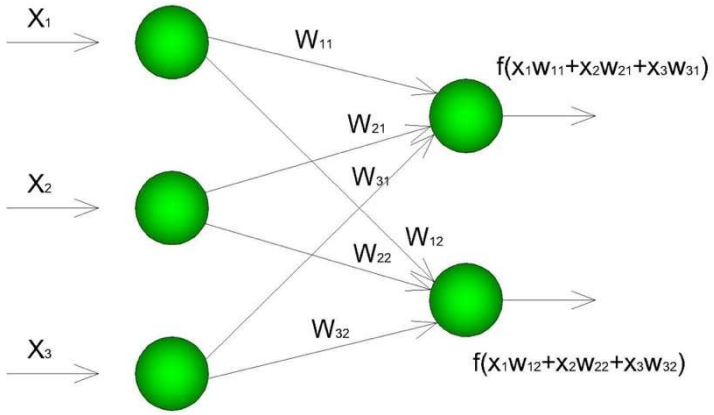


Рисунок 4 – Полносвязанный слой

Примером свёрточной нейронной сети с полносвязанными слоями является Le-Net, AlexNet, VGG [19, 20].

Слои смешивания (Dropout Layers) является одним из способов регуляризации нейронных сетей, используемых для предотвращения переобучения и улучшения обобщающей способности модели. Идея состоит в том, что случайные нейроны или узлы в сети исключаются во время обучения. Переобучение может возникнуть в момент, когда модель слишком хорошо подстроилась под обучающие данные и теряет способность обобщения на новые, ранее незнакомые данные. Слои смешивания уменьшают связанность между нейронами, что снижает вероятность переобучения. Для этого в таком слое случайным образом отключается заданная доля нейронов и узлов (обычно в диапазоне от 20% до 50%) для каждой итерации обучения. Это означает, что в каждой эпохе обучения некоторые нейроны не участвуют в прямом и обратном распространении ошибки и модель обучается на различных подмножествах данных [21].

Модели, обученные с использованием слоя смешивания, часто лучше обобщает на новые данные и демонстрирует лучшую производительность на тестовых данных. Важно помнить, что такие слои используются только во время обучения, и в тестовой фазе отключаются так как они не требуются для предсказаний.

Слой вывода (output layer) определяет, какие предсказания делает нейронная сеть. В зависимости от задачи это может быть слой с несколькими нейронами для задачи классификации, слой с одним нейроном для задачи регрессии и другие конфигурации.

Разобравшись в основных терминах и понятиях, а также со структурой нейронных сетей, можно приступать к непосредственному рассмотрению наиболее известных и значимых архитектур.

Заключение. Данная статья рассматривает основные задачи, решаемые нейронными сетями при анализе изображений. Даётся базовое сравнение с принципами анализа изображений мозгом человека, ведь биологический мозг выдаёт результат всё ещё значительно превышающий по точности, качеству обработки и распознания в большинстве задач. Анализ работы мозга и заимствование подходов помогают делать прорывы в области развития компьютерного зрения. В статье описывается структура свёрточной нейронной сети с описанием используемых подходов и методов её построения. Конкретные конструктивные решения, которые имеют решающее значение для организации эффективного обучения сети. С развитием технологий и увеличением объема данных становится ясно, что глубокие нейронные сети остаются основным инструментом в обработке и анализе информации, особенно в области компьютерного зрения. Архитектуры представляют собой набор основных строительных блоков и являются ключевыми элементами для многих современных приложений, таких как распознавание образов, автоматическая классификация изображений, идентификация объектов и даже создание искусственных интеллектуальных систем. Современные технологии, такие как автономные автомобили, медицинская диагностика на основе изображений и распознавание лиц, все

более зависят от эффективности глубоких нейронных сетей. Понимание особенностей и принципов работы таких архитектур является необходимыми для успешного решения сложных задач в этих областях.

Таким образом, продолжение исследований в области глубокого обучения и архитектур нейронных сетей остается актуальным и важным направлением для развития технологий будущего, открывая новые возможности в области искусственного интеллекта и повседневной жизни.

Список использованных источников:

1. 105 AI Statistics (2025): Adoption & Growth Data / Naveen Kumar // Demandsage, 2024. – URL: https://www.demandsage.com/artificial-intelligence-statistics/

2. 22 Top AI Statistics And Trends / Katherine Haan // Forbes Advisor, 2024. – URL: https://www.forbes.com/advisor/business/ai-statistics/#1

3. 149 AI Statistics: The Present & Future of AI at Your Fingertips / Mark Webster // Authority Hacker, 2024. – URL: https://www.authorityhacker.com/ai-statistics/

4. Camera Lens Market Size By Application (Consumer Electronics [Mobile, AR/VR/MR, Digital Camera], Automotive, Healthcare), By Distribution Channel (Online, Offline), Industry Analysis Report, Regional Outlook, Growth Potential, Price Trend Analysis, Competitive Market Share & Forecast, 2021 – 2027 // Global Market Insights, 2021. – Report ID: GMI5012. – URL: https://www.gminsights.com/industry-analysis/camera-lens-market

5. How Many Pictures Are on Instagram? // EarthWeb, – URL: https://earthweb.com/blog/how-many-pictures-are-on-instagram

6. LeCun, Y. Deep learning / Y. LeCun, Y. Bengio, G. Hinton // Nature, 2015. – doi:10.1038/nature14539.

7. Tian, Y. Biological Basis and Computer Vision Applications of Image Phase Congruency: A Comprehensive Survey / Y. Tian, M. Wen, D. Lu, X. Zhong, Z. Wu // Biomimetics, 2024. – Vol. 9. – P. 422. – doi:10.3390/biomimetics9070422.

8. Kruger, N. Deep hierarchies in the primate visual cortex: What can we learn for computer vision? / N. Kruger, P. Janssen, S. Kalkan, M. Lappe, A. Leonardis, J. Piater, A.J. Rodriguez-Sanchez, L. Wiskott // IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., 2012. – Vol. 35. – P. 1847–1871.

9. Alzubaidi, L. Review of deep learning: concepts, CNN architectures, challenges, applications, future directions / L. Alzubaidi, J. Zhang, A.J. Humaidi et al. // J Big Data, 2021. – Vol. 8. – P. 53. – doi:10.1186/s40537-021-00444-8.

10. Maurício, J. Comparing Vision Transformers and Convolutional Neural Networks for Image Classification: A Literature Review / J. Maurício, I. Domingues, J. Bernardino // Appl. Sci., 2023. – Vol. 13. – P. 5521. – doi:10.3390/app13095521.

11. Zheng, H. A Deep Convolutional Neural Network-Based Multi-Class Image Classification for Automatic Wafer Map Failure Recognition in Semiconductor Manufacturing / H. Zheng, S.W.A. Sherazi, S.H. Son, J.Y. Lee // Appl. Sci., 2021. – Vol. 11. – P. 9769. – doi:10.3390/app11209769.

12. Albawi, S. Understanding of a convolutional neural network / S. Albawi, T.A. Mohammed, S. Al-Zawi // 2017 International Conference on Engineering and Technology (ICET), 2017. – P. 1-6. – doi:10.1109/ICEngTechnol.2017.8308186.

13. Guo, Y. Deep learning for visual understanding: A review / Y. Guo, Y. Liu, A. Oerlemans, S. Lao, S. Wu, M.S. Lew // Neurocomputing, 2016. – Vol. 187. – P. 27-48.

14. Esquivel, J. Adaptive Convolutional Kernels / J. Esquivel // 2019 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision Workshop (ICCVW), 2019.

15. Yi, Z. Evaluation and Implementation of Convolutional Neural Networks in Image Recognition / Z. Yi // J. Phys.: Conf. Ser., 2018. – Vol. 1087. – P. 062018.

16. Singh, T. A deeply coupled ConvNet for human activity recognition using dynamic and RGB images / T. Singh, D.K. Vishwakarma // Neural Comput & Applic, 2021. – Vol. 33. – P. 469–485.

17. Zhao, X. A Review of Convolutional Neural Networks in Computer Vision / X. Zhao, L. Wang, Y. Zhang, X. Han, M. Deveci, M. Parmar // Artificial Intelligence Review, 2024. – Vol. 57. – P. 1-43.

18. Indolia, S. Conceptual Understanding of Convolutional Neural Network- A Deep Learning Approach / S. Indolia, A. Goswami, S.P. Mishra, P. Asopa // Procedia Computer Science, 2018. – Vol. 132. – P. 679-688. – doi:10.1016/j.procs.2018.05.069.

19. Lecun, Y. Gradient-Based Learning Applied to Document Recognition / Y. Lecun, L. Bottou, Y. Bengio, P. Haffner // Proceedings of the IEEE, 1998. – Vol. 86. – P. 2278-2324. – doi:10.1109/5.726791.

20. Zhang, A. 8.1. Deep Convolutional Neural Networks (AlexNet) / A. Zhang, Z. Lipton, M. Li, A.J. Smola // 2024.

21. Brownlee, J. A Gentle Introduction to Dropout for Regularizing Deep Neural Networks / J. Brownlee // Machine Learning Mastery, – URL: https://machinelearningmastery.com/dropout-for-regularizing-deep-neural-networks/

UDC 004.932.2

BASIC CONCEPTS AND APPROACHES IN USING CONVOLUTIONAL NETWORKS FOR IMAGE ANALYSIS

Ptukha V.I.[1]

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics[1]*, Minsk, Republic of Belarus*

Bobrova N.L. – PhD in Technical Sciences, associate professor

Annotation. In the context of the rapid growth of visual information and the widespread use of digital images, the need for effective methods of image analysis and processing is increasing. Modern devices generate enormous volumes of graphical data, making computer vision technologies increasingly in demand across various industries – from manufacturing to everyday life. One of the key achievements in this field has been the development of convolutional neural networks (CNNs), which have demonstrated high efficiency in tasks such as pattern recognition, image classification, and object identification. This paper focuses on the fundamental concepts, operating principles, as well as the main approaches and ideas used in the design of neural network architectures.

Keywords. Computer vision, convolutional neural networks, artificial intelligence, convolution.

РАЗРАБОТКА ДОСТУПА К ОБЛАЧНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЕ: СТРАТЕГИИ, МЕТОДЫ, АРХИТЕКТУРА

Яшин А.К.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Парамонов А.И. – канд. техн. наук, доцент

В работе исследуются вопросы доступа к облачной инфраструктуре. Делается обзор применения различных моделей облачных вычислений. Описаны ключевые положения для создания облачной инфраструктуры, предлагающей пользователю выбор виртуальных ресурсов на основе его потребностей, и технические аспекты построения архитектуры предложенного программного решения.

В современном бизнесе почти каждая компания сталкивается с необходимостью хранения и обработки данных, что требует наличия информационной инфраструктуры. Однако, для многих организаций вопрос размещения программного обеспечения становится сложной задачей. Организациям необходимо иметь возможность быстро масштабировать вычислительные ресурсы, обеспечивать безопасность данных и оптимизировать процессы управления инфраструктурой. С ростом объемов данных и комплексности информационных систем становится все сложнее эффективно управлять инфраструктурой. В связи с этим возникает потребность в инновационных подходах к управлению информационной инфраструктурой, которые позволили бы компаниям эффективно использовать свои ресурсы и снизить затраты на обслуживание своего продукта.

Инфраструктура компании может быть классифицирована следующими способами [1]:

1. Локальная инфраструктура разворачивается на собственных серверах компании, в этом случае компания сама занимается закупкой вычислительных мощностей и установкой необходимого программного обеспечения. Такой способ в долгосрочной перспективе может быть экономически выгодным, особенно при стабильной и предсказуемой загрузке и высоких требованиях к безопасности данных.

2. Облачная инфраструктура основывается на развертывании всех элементов приложений в системе облачных вычислений, работающих на мощностях компаний, которые предоставляют продажу своих мощностей и хранилищ другим компаниям. Таким способом можно построить инфраструктуру, которую легко масштабировать и настраивать, также этот способ выгоден из-за того, что оплата идет только за фактически используемые вычислительные мощности, что позволяет эффективно управлять расходами и оптимизировать бюджет на инфраструктуру.

3. Гибридная инфраструктура совмещает в себе облачную и локальную инфраструктуру. Самый распространенный способ развертывания гибридной инфраструктуры – комбинация облака и существующей локальной инфраструктуры с целью расширения и наращивания инфраструктуры организации в облако путем подключения облачных ресурсов к внутренней системе.

Организациям необходимо быстро масштабировать вычислительные ресурсы в зависимости от изменяющихся потребностей бизнеса. Также важно оптимизировать процессы управления и настройки инфраструктуры, чтобы повысить эффективность и снизить затраты на обслуживание. В основе создания и использования эффективной облачной инфраструктуры лежит принцип виртуализации, который позволяет разбить один физический сервер, владеющий огромным количеством вычислительных мощностей на виртуальные сервера, каждый из которых получит столько вычислительной мощности, сколько ему выдадут при создании этой виртуальной машины. Каждая такая машина представляет собой полностью самостоятельную единицу, которую почти невозможно отличить от такой же физической единицы. Это происходит за счет гипервизора (рисунок 1), который встроен в современное аппаратное оборудование сервера. Он позволяет запускать на одном оборудовании одновременно несколько операционных систем. На основе гипервизора уже есть множество реализаций виртуальных машин, которые будут работать под любой операционной системой, например QEMU, VirtualBox, VMware [2].

На основе виртуализации можно написать программное обеспечение, которое позволит создавать настроенные под конкретную задачу виртуальные машины, и получить к ним доступ через сеть интернета. В зависимости от задачи можно выделить либо большее количество физической памяти для хранения информации, либо большее количество процессорных ядер для обработки этих самых данных. Также шаблонные виртуальные машины позволят разворачивать сложное программное обеспечение, с легкой настройкой под необходимую задачу, к примеру это может быть GitLab, Kubernetes, PostgresSQL и т.д., предоставляя компании заказчику полную настройку и поддержку необходимого им программного обеспечения [3].

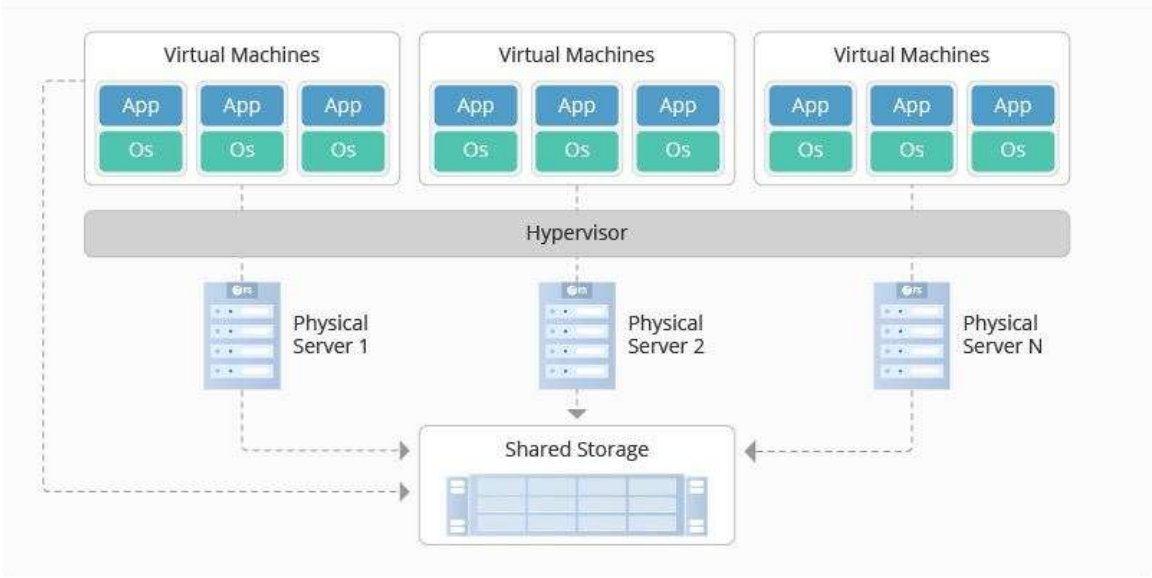


Рисунок 1 – Принцип работы виртуализации

Для внутреннего общений между собой архитектура приложения (рисунок 2) объединяет виртуальные машины в виртуальную сеть, с помощью которой можно удобно настраивать отдельные части инфраструктуры в одну цельно работающую распределенную систему.

Данное программное обеспечение можно использовать на своих вычислительных мощностях, создавая удобную инфраструктуру для компании, либо продавая их другим компаниям, получая прибыль от неиспользуемых ресурсов.

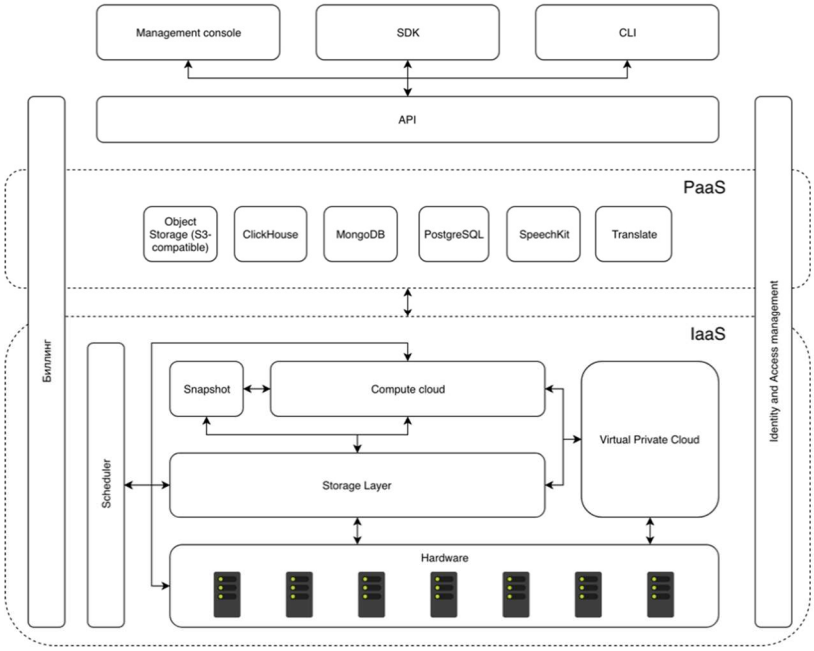


Рисунок 2 – Архитектура приложения для доступа к облачной инфраструктуре

Список использованных источников:

1. Types of cloud computing (AWS) [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://aws.amazon.com/ru/types-of-cloud-computing/ (Дата обращения: 10.04.2025).

2. What is virtualization? [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://aws.amazon.com/what-is/virtualization/?nc1=h_ls – (Дата обращения: 10.04.2025).

3. Что такое PaaS? [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.oracle.com/cis/cloud/what-is-paas. (Дата обращения: 10.04.2025).

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО УЧЕТА И ПЛАНИРОВАНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОПЕРАЦИОННЫХ БЛОКОВ

Еремейчик К.Ю., Малашенко Д.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Ярмолик В.Н. – доктор техн. наук, профессор

Эффективное управление операционными блоками – одна из ключевых задач в организации работы современной медицинской клиники. От слаженности планирования хирургических вмешательств зависит не только загруженность персонала и оборудования, но и своевременность оказания помощи пациентам. Однако во многих учреждениях до сих пор используются устаревшие методы учета – бумажные журналы, таблицы Excel или фрагментарные электронные системы, не связанные между собой. Это приводит к частым накладкам, нерациональному распределению времени операционных залов, дублированию записей и, как следствие, к простоям дорогостоящего оборудования и перегруженности хирургических команд.

Сегодня на рынке представлено несколько программных решений для автоматизации управления операционными блоками, однако все они имеют ряд существенных недостатков, ограничивающих их практическое применение. Основная проблема существующих систем – чрезмерно сложный интерфейс, требующий длительного обучения медицинского персонала. Врачи и медсёстры, постоянно работающие в условиях цейтнота, просто не могут тратить время на освоение громоздких меню и многоуровневых настроек. Особенно остро это ощущается в небольших медицинских учреждениях, где нет штатных IT-специалистов.

Не менее критична зависимость большинства систем от постоянного интернет-соединения. На практике это приводит к катастрофическим ситуациям, когда во время экстренной операции или при необходимости срочного изменения расписания система становится недоступной из-за проблем с подключением. Медицинский персонал оказывается перед выбором – терять драгоценное время или работать «по старинке» с бумажными журналами, сводя на нет все преимущества автоматизации.

Отдельно стоит отметить крайне слабую реализацию функций генерации отчетов и планирования операций в существующих решениях. Формируемые отчеты либо содержат избыток технических данных, бесполезных для практикующего врача, либо, наоборот, слишком поверхностны для администрации. Системы не позволяют быстро получить наглядную картину загрузки операционных, сравнить плановые и фактические показатели, выявить сезонные колебания нагрузки.

Разрабатываемое программное средство для автоматизации учета операционных блоков создано с целью решения насущных проблем, с которыми ежедневно сталкиваются медицинские учреждения при организации хирургической деятельности. Система предлагает комплексный подход к управлению операционными, сочетающий в себе простоту использования с широкими функциональными возможностями. Особое внимание уделено вопросам формирования отчетности и планирования операций, которые традиционно вызывают наибольшие сложности в клинической практике.

В области отчетности система обеспечивает медицинский персонал удобным инструментарием для работы с данными. Пользователи могут генерировать отчеты за любые временные периоды–от анализа работы за одну операционную смену до составления отчетов за годовой период. Все данные структурируются и представляются в удобочитаемом виде, выделяя ключевые показатели эффективности работы операционного блока. Особенностью системы является возможность экспорта готовых отчетов в формат DOCX, что значительно упрощает процесс документооборота в медицинском учреждении и обеспечивает совместимость с большинством офисных приложений. Сформированные отчеты включают информацию о загрузке операционных, использовании оборудования, работе персонала и других важных аспектах хирургической деятельности.

Планирование операций в системе реализовано с учетом различных сценариев работы медицинского учреждения. Для повседневного использования предусмотрен интуитивно понятный интерфейс, позволяющий быстро составлять и корректировать расписание операций с учетом всех необходимых параметров. В случаях, когда требуется массовое внесение данных или работа с типовыми графиками, система поддерживает импорт планов операций из внешних файлов. Важной особенностью является встроенный механизм проверки вводимых данных, который автоматически анализирует соответствие планов установленным нормативам и доступности ресурсов, предотвращая возможные ошибки и накладки в расписании. Это значительно снижает нагрузку на персонал и уменьшает вероятность возникновения конфликтных ситуаций при распределении операционных ресурсов.

Центральным элементом разрабатываемой системы является комплексный модуль мониторинга, обеспечивающий контроль за ходом хирургических вмешательств. Данный инструмент предоставляет медицинскому персоналу и администрации учреждения оперативную информацию о

текущей деятельности операционного блока, существенно повышая эффективность управления ресурсами. Часть данных, отображаемых в реальном времени:

1. список выполняемых операций с указанием хирургических залов;
2. задействованные специалисты;
3. данные пациента;
4. используемые инструменты;
5. прогресс операции с отображением текущего этапа.

Этот функционал помогает избежать путаницы при экстренных изменениях в расписании, а также позволяет администрации видеть общую загрузку операционных без необходимости запрашивать отчеты вручную. Данные обновляются автоматически, что делает контроль более прозрачным и удобным.

Разрабатываемая система включает аналитический модуль, который помогает медицинскому учреждению лучше понимать работу операционного блока. На основе накопленных данных система строит различные отчеты, показывающие как используются операционные и как работает персонал.

Для анализа операционных блоков доступны данные по их загрузке за различные промежутки времени. Это позволяет администрации выявлять периоды пиковой нагрузки, определять наиболее востребованные операционные, а также обнаруживать периоды сниженной активности. Система автоматически выстраивает динамику использования операционных помещений, что помогает в долгосрочном планировании ресурсов. Что касается работы персонала, система позволяет оценить загруженность отдельных специалистов, соблюдение временных нормативов. Можно проследить, как меняются эти показатели со временем.

Все данные представлены в виде понятных графиков и диаграмм, которые помогают быстро уловить основные тенденции. Такой аналитический инструментарий помогает руководству медицинского учреждения оперативно выявлять проблемные зоны в организации работы операционного блока и принимать взвешенные управленческие решения для повышения эффективности хирургической службы.

Разработанное программное средство реализовано на основе современных и надежных технологий: Java Spring для backend-части и React для frontend. Использование Spring Framework для серверной части приложения предоставило значительные преимущества. Данный фреймворк обеспечивает высокую производительность и стабильность работы благодаря своей оптимизированной архитектуре. Spring обладает развитой модульной структурой, что гарантирует гибкость и масштабируемость системы. Интегрированный механизм Spring Security позволяет реализовать надежную систему аутентификации и авторизации. Применение Spring Boot значительно упростило процесс разработки за счет автоматической конфигурации и встроенного сервера приложений. Spring Data JPA обеспечивает удобное взаимодействие с реляционными базами данных, сокращая количество стандартного кода. Фреймворк поддерживает принципы инверсии управления и внедрения зависимостей, что способствует созданию легко тестируемого и поддерживаемого кода.

Для реализации клиентской части была выбрана библиотека React, что позволило создать современный, отзывчивый и интуитивно понятный пользовательский интерфейс. React обеспечивает высокую производительность за счет использования виртуального DOM и эффективного алгоритма сравнения. Компонентный подход способствует повторному использованию кода и упрощает процесс разработки. Односторонний поток данных в React делает поведение приложения более предсказуемым и упрощает отладку. Библиотека обладает богатой экосистемой дополнительных модулей и инструментов, что значительно расширяет ее функциональные возможности.

Применение Spring и React обеспечивает оптимальное сочетание надежности backend-логики и интерактивности frontend, что делает разработанное решение эффективным, производительным и удобным для дальнейшего развития.

Список использованных источников:

1. Oracle Java Documentation [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://docs.oracle.com/en/java/.

2. Spring Framework Official Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://spring.io/projects/spring-framework.

3. Spring Framework Official Documentation [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://spring.io/projects/spring-framework.

4. Spring Boot Reference Guide [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://docs.spring.io/spring-boot/docs/current/reference/htmlsingle/.

5. Spring Security Documentation [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://docs.spring.io/spring-security/reference/.

6. Mozilla Developer Network JavaScript [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript.

АНАЛИЗ ТЕКСТА МЕТОДОМ ИЗВЛЕЧЕНИЯ КОЛЛОКАЦИЙ

Джаримбетов.Т.Б

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Хмелева А.В. – канд. тех. наук, доцент

Исследование посвящено анализу эссе студентов БГУИР на тему «Я – программист» с применением метода извлечения коллокаций. Цель – выявить значимые пары слов и интерпретировать их смысл. Анализ 150 текстов выявил сочетания: «востребованная профессия» (t-тест 4,10) и «программный код» (t-тест 4,34), отражающие интерес к карьере и технике. Метод эффективен, но малый объём данных ограничивает выводы. В дальнейшем планируется расширение анализа.

Современные технологии обработки текстов позволяют извлекать из них скрытые закономерности и смысловые связи. Одним из таких подходов является анализ коллокаций. Коллокация – это устойчивое словосочетание, содержащее синтаксические или семантические связи, например, «высокая зарплата», где слова часто встречаются вместе, показывая, что автор связывает эти понятия. При автоматическом выделении коллокаций из текста рассматриваются два подхода: на основе частоты вхождения слов и словосочетаний в рассматриваемый текст (частотный подход) и на основе структуры предложения. Такие сочетания встречаются чаще, чем можно ожидать случайно, и помогают понять, какие темы или идеи важны для автора. Это делает коллокации полезным инструментом в лингвистике и социологии [1].

Настоящее исследование посвящено анализу эссе студентов Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники (БГУИР) на тему «Я – программист». Цель работы – выявить значимые пары слов вида «существительное + прилагательное» и определить, что они говорят о восприятии студентами своей будущей профессии. Для этого применялись статистические методы: t-тест, PMI и планируется использование критерия χ^2 в будущем. Т-тест проверяет, насколько вероятно, что два слова встречаются вместе не случайно. PMI (Pointwise Mutual Information) измеряет силу связи между словами. χ^2 (критерий хи-квадрат) позволяет оценить значимость сочетаний, сравнивая наблюдаемые и ожидаемые частоты [2].

Для работы были собраны 150 эссе студентов БГУИР, обучающихся на специальности «Программная инженерия». Общий объём текстов составил около 30 000 слов. На первом этапе тексты были подготовлены: удалены заглавные буквы, проведена токенизация с использованием инструмента word_tokenize (часть библиотеки NLTK для анализа текстов), исключены малозначимые слова, такие как «и» или «на», а слова приведены к базовой форме с помощью pymorphy2 (например, «программистов» преобразовано в «программист»). Подобные подходы к обработке текстов с применением программных инструментов описаны в работе Митина и Евдокименко [4]. Затем проводился поиск пар «существительное + прилагательное» с расстоянием от 0 до 2 слов. Например, в фразе «очень востребованная профессия» расстояние между «востребованная» и «профессия» равно 1.

Компьютерный эксперимент на Python включал следующие исследования:

1. Анализ расстояний 0-1-2: подсчитали частоту пар в окне из 3 токенов. Например, «востребованная профессия» – 20 (freq_0 = 15, freq_1 = 3, freq_2 = 2).

2. Частота и пороговый вход: минимальная частота ≥ 5, общее число биграмм N≈15,000.

3. Пороговое значение: t-тест ≥ 1,96 (=0,05):

$$t = \frac{\rho_{\text{биграм}} - \rho_{\text{сущ}} \cdot \rho_{\text{прил}}}{\sqrt{\frac{\rho_{\text{бигр}} \cdot \left(1 - \rho_{\text{бигр}}\right)}{N}}}, \tag{1}$$

где $\rho_{\text{биграм}}$ – вероятность появления пары слов (например, «востребованная профессия»), $\rho_{\text{сущ}}$ – вероятность встретить существительное (например, «профессия»), $\rho_{\text{прил}}$ – вероятность встретить прилагательное (например, «востребованная»), N – общее число пар слов. Если t-тест больше 1,96, пара считается значимой [2].

4. Расчет PMI, чтобы понять, насколько слова связаны:

$$\text{PMI} = \log_2 \left(\frac{\rho_{\text{бигр}}}{\rho_{\text{сущ}} \cdot \rho_{\text{прил}}} \right). \tag{2}$$

Положительное PMI говорит, что слова встречаются вместе чаще, чем случайно [2].

В будущем предполагается использовать χ^2– ещё один способ проверки. Он сравнивает, сколько раз слова встретились вместе, с тем, сколько раз это могло бы быть случайно. Значение χ^2 рассчитывается по выражению:

$$\chi^2 = \sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}, \quad (3)$$

где O_i – реальное число встреч пары в текстах (наблюдаемая частота), E_i – сколько раз пара должна была встретиться случайно (ожидаемая частота), $\sum$ – сумма по всем парам. Чем больше χ^2, тем сильнее связь между словами [2].

Проведенный анализ показал, какие пары слов чаще всего встречаются в эссе студентов. Результаты сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Частота и значимость пар слов в эссе студентов

Пара слов	Частота	Freq_0	Freq_1	Freq_2	t-тест	PMI
Востребованная профессия	20	15	3	2	4.10	3.90
Основа программный	19	19	0	0	4.34	7.81
Сеть программный	14	0	14	0	3.73	8.20
Высокая зарплата	15	12	2	1	3.50	3.20

Частотный анализ выявил, что «востребованная профессия» (частота = 20) и «основа программный» (частота = 19) – лидеры. Технические пары чаще идут без разрыва (freq_0), а прагматические допускают расстояние. Т-тест для всех пар больше 1,96, значит, они не случайны. PMI показывает силу связи: например, у «сеть программный» PMI равно 8,20, что говорит о сильной связи [2].

Дальнейший анализ полученных результатов выявил, что значат эти пары и что их можно поделить на две группы. Первая – про карьеру, например, «востребованная профессия» и «высокая зарплата». Это показывает, что студенты думают о будущем: им важно, чтобы работа была нужной и хорошо оплачивалась. Вторая группа – про технику, например, «основа программный» и «сеть программный». Это говорит, что студентам интересно само программирование. Данный результат совпадает с тем, что пишут другие исследователи, например, в [3].

Метод коллокаций позволил выяснить, о чём думают студенты БГУИР, описывая свою будущую профессию. Пары «востребованная профессия» (t-тест 4,10) и «программный код» (t-тест 4,34) свидетельствуют, что для них важны карьера и техника. Данный способ анализа оказался эффективным, но объём данных составил всего 150 текстов, что недостаточно для масштабных выводов. В дальнейшем планируется увеличить количество текстов и применить χ^2 для повышения точности анализа. Полученные результаты могут помочь БГУИР лучше понять ожидания студентов и улучшить образовательный процесс.

Список использованных источников:

1. Sinclair, J. Corpus, concordance, collocation. Oxford University Press, 1991.

2. Manning, C. D., Schütze, H. Foundations of statistical natural language processing. MIT Press, 1999.

3. Ненаусников, К. В., Кулешов, С. В. Алгоритм автоматического выделения коллокаций из текста. Известия вузов. Приборостроение, 2019, т. 62, № 11, с. 976–981.

4. Митина, О. В., Евдокименко, А. С. Методы анализа текста: методологические основания и программная реализация. Вестник ЮУрГУ, Серия «Психология», 2010, № 40, с. 29–38.

МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА И МОНИТОРИНГА АКУСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГОЛОСА

Данилов Ф.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Вашкевич М.И. – доктор техн. Наук, профессор

Мобильное приложение для анализа и мониторинга акустических параметров голоса пациентов для выявления раннего бокового амиотрафического склероза. В тезисе анализируются вопросы выбора технологического стека, архитектуры, функционала приложения и акустических параметров голоса пациента. В результате разработки представлено приложение, которое может использоваться в медицинских учреждениях и ускорять установку диагнозов у пациентов.

Анализ акустических параметров голоса играет важную роль в современной медицине, позволяя выявлять различные заболевания на ранних стадиях. Голосовой сигнал содержит множество характеристик, таких как частота, амплитуда, тембр и спектральные особенности, которые могут изменяться под воздействием патологических процессов. Методы цифровой обработки сигналов позволяют анализировать эти изменения и выявлять отклонения, характерные для таких заболеваний, как болезнь Паркинсона, боковой амиотрофический склероз (БАС), дисфония и другие неврологические или респираторные нарушения.

С развитием мобильных технологий акустический анализ голоса становится доступным для пользователей. Мобильные приложения позволяют проводить предварительную диагностику заболеваний в домашних условиях и позволяет вовремя обратиться за медицинской помощью к специалисту.

Боковой амиотрафический склероз (БАС) является неизличимым заболеванием. В настоящий момент диагноз ставится на основании большого количества исследований и занимает значительное количество времени. Использование акустического анализа голоса и речи является перспективным способом усовершенствования процесса обнаружения БАС. Это становится возможным, так как трудности с речью и глотанием являются первыми симптомами у лиц с БАС [1].

В результате исследований для диагностирования БАС были выбраны следующие акустические параметры голоса: J_{LOC}, J_{RAP}, J_{PPQ5}, S_{LOC}, S_{APQ3}, S_{APQ5}, S_{APQ11}, F_0, $F_{0\ SD}$ [2].

J_{LOC} – локальное дрожание (англ. Jitter), измеряется в процентах.

J_{RAP} – относительное среднее возмущение периода (англ. RAP – relative average perturbation), измеряется в процентах.

J_{PPQ5} – пятиточечный коэффициент возмущения периода (англ. PPQ – period perturbation quotient), измеряется в процентах.

S_{APQ3} – трехточечный коэффициент амплитудного возмущения (англ. APQ – amplitude perturbation quotient), измеряется в процентах.

S_{APQ5} – пятиточечный коэффициент амплитудного возмущения, измеряется в процентах.

S_{APQ11} – 11-точечный коэффициент амплитудного возмущения, измеряется в процентах.

F_0 – основная частота, измеряется в Гц.

$F_{0\ SD}$ – стандартное отклонение основной частоты (англ. SD – standard deviation), измеряется в Гц.

Основной язык для разработки программного средства – Kotlin. Операционная система – Android. Язык программирования алгоритмов обработки голоса – C++. Алгоритм обработки голоса используется в мобильном приложении с помощью технологии NDK. Мобильное приложение спроектировано на отдельных модулях для расширяемости и увеличения скорости сборки.

Модуль «Пациент» используется для хранения, отображения, добавления, редактирования и удаления информации о пациентах медицинского учреждения. Реализована поддержка поиска пациентов по одним из его характеристик. При отображении информации о пациенте отображается список его анализов.

Модуль «Запись» отвечает за запись голоса или загрузку существующего аудиофайла с дальнейшим редактированием аудиозаписи. Запись голоса для анализа проводится на продолжительном произношении звука /a/ в течение 6 секунд. Редактирование аудиозаписи представляет собой выделение промежутков для анализа. Все записи хранятся в кэш памяти приложения в формате .wav.

Модуль «Анализ» предназначен для отображения детализированной записи голоса пациента. Анализ отображается в виде списка акустических параметров голоса. Каждому параметру соответствует промежуток значений здорового пациента. Если числовой параметр голоса за пределами нормальных значений, этот параметр выделяется как опасный, что соответсвует речевым

нарушениям, характерным пациентам с БАС. При обнаружении отклонений, пациента направляют на другие, более детальные обследования для подтверждения диагноза.

Модуль «Экспорт» реализует экспорт данных пациентов и их анализов. Данные представляют собой архив с поддержкой загрузки в другие мобильные приложения. Архив состоит из всех записей голоса пациентов и с Excel таблицей выполненных ими анализов.

Примеры экранов мобильного приложения отображены на рисунке 1.

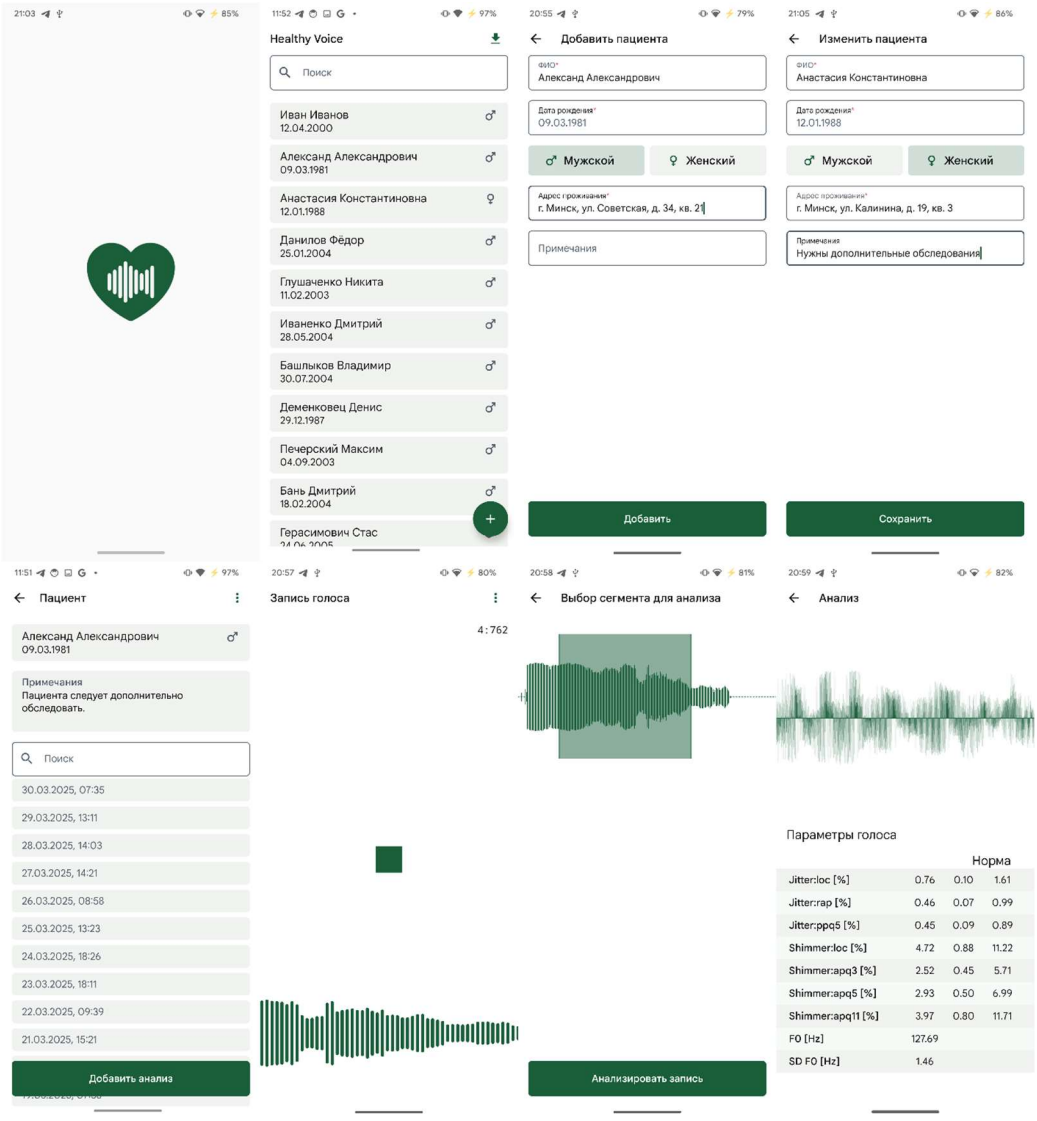


Рисунок 1 – Примеры работы мобильного приложения

В результате разработки спроектировано мобильное приложение, которое может применяться в медицинских учреждениях неврологии и нейрохирургии. Использование приложения может ускорить установление диагноза бокового амиотрафического склероза. Это увеличит шансы положительного исхода лечения пациентов на ранних стадиях болезни.

Авторы приносят свою благодарность профессору кафедры ЭВС Вашкевичу М.И. за консультации, оказанные в процессе работы над приложением.

Список использованных источников:

1. Amyotrophic lateral sclerosis / M.C. Kiernan [et al.] // Lancet. – 2011. – vol.377 (issue 9769). – P. 942-955.

2. Вашкевич М.И., Рушкевич Ю.Н. Система детектирования речевых нарушений у пациентов с боковым амиотрофическим склерозом на основе теста на протяжное произнесение звука [a] // Актуальные проблемы неврологии и нейрохирургии. Рецензируемый сборник научных трудов. Выпуск 22. Под ред. д.м.н. Р.Р. Сидоровича и д.м.н., проф. С.А. Лихачева. – Минск, 2019. – С. 278–290.

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ БРОНИРОВАНИЯ НОМЕРОВ И УСЛУГ В ОТЕЛЯХ НА ПЛАТФОРМЕ .NET

Денисова Е.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Савёнок В.А. – ст. преподаватель

Веб-приложение позволяет пользователям бронировать номера и услуги в отелях. Разработано при помощи ASP.NET.Core, Blazor, MS SQL Server.

Современный гостиничный бизнес требует эффективных цифровых решений для автоматизации процессов бронирования, управления номерами и предоставления дополнительных услуг. Разработанное веб-приложение на базе ASP.NET Core, Blazor и MS SQL Server предлагает комплексное решение для этих задач, сочетающее удобство использования, надежность хранения данных и гибкость управления.

Перед разработкой был проведен анализ современных систем бронирования, включая «Яндекс.Путешествия», «Aviasales.Отели». Были выявлены следующие требования к разработке:

1. Динамическое ценообразование, поддержка сезонных коэффициентов, ручная корректировка цен и спецпредложений.

2. Возможность добавлять новые функции, такие как система лояльности или мобильное приложение, без переписывания кода, используя Dependency Injection. Это упрощает тестирование и замену компонентов.

3. Автоматизация рутинных операций, такие как уведомления клиентов, напоминания о бронировании, генерация отчётов.

4. Мультиплатформенность, которая включает в себя адаптивный интерфейс, работающий на ПК, планшетах и смартфонах без необходимости разработки отдельного мобильного приложения.

Также проведенный анализ существующих платформ бронирования выявил существенные пробелы в их функциональности. Многие системы до сих пор работают на устаревших технологических стеках, предлагая ограниченный набор возможностей и требуя сложных интеграционных решений. Особенно остро стоит проблема фрагментированности сервисов, когда управление номерами, дополнительными услугами и клиентскими данными осуществляется через разные, зачастую не связанные между собой системы. Это создает значительные операционные сложности для отелей и ухудшает качество обслуживания гостей.

Объектом проектирования является веб-приложение для бронирования номеров и услуг в отелях, предназначенное для использования как клиентами, так и администраторами отелей.

Цель работы – разработка клиент-серверного веб-приложения на платформе .NET, обеспечивающего удобный поиск, бронирование и управление номерами, а также интеграцию с платежными системами и автоматизацию процессов учета. Приложение позволяет сохранять данные о бронированиях как локально (для офлайн-доступа), так и на удаленном сервере, что гарантирует надежность и возможность восстановления информации.

Актуальность работы обусловлена растущим спросом на цифровизацию гостиничного бизнеса, а также необходимостью создания универсального решения для отелей любого масштаба – от небольших гостевых домов до крупных сетевых отелей. В отличие от существующих систем, которые часто ориентированы либо на малый бизнес с ограниченным функционалом, либо на крупные сети с избыточной сложностью, разработанное приложение предлагает гибкий масштабируемый подход. Ключевое преимущество системы – архитектура, позволяющая адаптировать функционал под конкретные потребности. Анализ существующих решений показал, что многие системы бронирования либо ограничены функционально, либо требуют сложной интеграции. Разрабатываемое приложение предлагает комплексный подход, включающий:

1. Многопользовательский режим (клиенты, администраторы).

2. Гибкую систему бронирования с возможностью выбора дополнительных услуг.

3. Автономную работу клиентской части с синхронизацией данных при восстановлении соединения.

Особенности реализации архитектуры приложения представлены на рисунке 1.

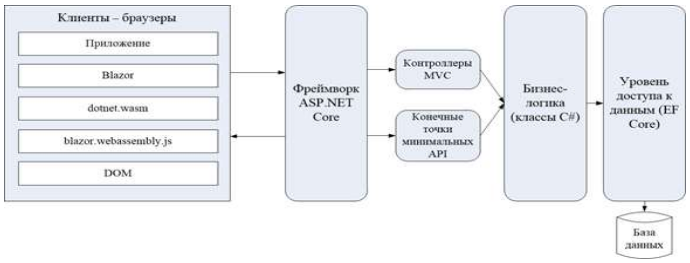


Рисунок 1 – Архитектура приложения

Клиентская часть реализована с использованием Blazor WebAssembly [1], обеспечивающего интерактивность и быструю работу в браузере.

Серверная часть разработана на ASP.NET Core [2], где используются MVC-контроллеры и минимальные API для взаимодействия с клиентской частью. Бизнес-логика – представлена C#-классами, которые реализуют основные процессы бронирования, учета и управления услугами. Уровень доступа к данным – использует Entity Framework Core [3] для работы с реляционной базой данных MS SQL Server. База данных хранит информацию о пользователях, номерах, бронированиях и дополнительных услугах.

Серверное приложение построено с использованием слоистой архитектуры [4]. Уровень представления отвечает за взаимодействие с клиентом, включает контроллеры, которые вызывают сервисный уровень. Этот слой отвечает за отображение пользовательского интерфейса и обработку пользовательского ввода. Он взаимодействует непосредственно с пользователем и предоставляет ему доступ к функциям и данным системы.

Сервисный уровень реализует бизнес-логику, управление потоками данных и взаимодействие между слоями, использует Dependency Injection для инъекции зависимостей. Он отвечает за обработку бизнес-правил и логики системы. Здесь выполняются все операции, связанные с обработкой данных, вычислениями, взаимодействием с внешними системами и принятием решений на основе бизнес-правил. Этот слой независим от конкретного представления и слоя доступа к данным.

Уровень доменной логики содержит предметные модели, интерфейсы репозиториев и основные бизнес-правила. Уровень инфраструктуры содержит классы для работы с внешними сервисами, управляет логированием, кэшированием, аутентификацией.

Слоистая архитектура обладает рядом преимуществ, таких как разделение ответственности. Это когда каждый слой выполняет свои задачи, что упрощает проектирование, разработку и сопровождение системы. Каждый слой может быть независимо модифицирован и тестирован, не затрагивая другие слои. Слоистая архитектура способствует модульности системы. Каждый слой представляет отдельный модуль, который может быть разработан, тестирован и заменен отдельно от других слоев. Это позволяет повысить гибкость и возможность повторного использования компонентов системы. Слоистая архитектура обеспечивает легкость расширения функциональности системы. Новые слои могут быть добавлены для поддержки дополнительных возможностей или интеграции с другими системами. Это позволяет системе быть более гибкой и адаптируемой к изменяющимся требованиям. Каждый слой в слоистой архитектуре предоставляет уровень абстракции, что упрощает взаимодействие между слоями. Высокоуровневые слои скрывают сложность нижележащих слоев, предоставляя простой и понятный интерфейс для использования и взаимодействия с системой.

Перспективы развития включают в себя расширение функционала, внедрение системы скидок, бонусов, интеграция с внешними сервисами, разработка модели прогнозирования спроса, персонализированные рекомендации номеров и услуг на основе истории бронирований.

Веб-приложение позволяет значительно упростить процесс бронирования номеров и услуг в отелях, обеспечивая интуитивно понятный интерфейс для клиентов, автоматизацию управления номерами и бронированиями, надежность хранения данных, возможность масштабирования и расширения функционала в будущем.

Таким образом, система бронирования, основанная на платформе .NET представляет собой эффективное и перспективное решение для гостиничного бизнеса.

Список использованных источников:

1. Лернер, Б. Blazor в действии / Б. Лернер. – М. : ДМК Пресс, 2022. – 320 с.

2. Фримен, А. ASP.NET Core 5. Разработка приложений / А. Фримен. – СПб. : Питер, 2021. – 768 с.

3. Entity Framework Core [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.microsoft.com/ru-ru/ef/core/. – Дата доступа: 25.03.2025.

4. Слоистая архитектура в .NET [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.microsoft.com/ru-ru/dotnet/architecture/modern-web-apps-azure/common-web-application-architectures. – Дата доступа: 25.03.2025.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭМОЦИОНАЛЬНОГО ФОНА ТЕКСТОВ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ NLP

Павлюченко К.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Парамонов А.И. – канд. техн. наук, доцент

Выполнен анализ методов автоматической обработки текстов на естественном языке с целью определения эмоционального фона. Рассмотрены существующие модели и методы машинного обучения, которые можно применять для классификации эмоций. Представлена их общая архитектура и особенности применения. Предложен метод на основе трансформеров для определения эмоционального фона текстов.

Сентимент-анализ, или анализ тональности текста, – это развивающееся направление компьютерной лингвистики, основной задачей которого является выявление в документе эмоционально окрашенной лексики и эмоциональной оценки объектов автором [1].

Выявление эмоционального контекста в текстах – сложная задача обработки естественного языка (NLP), направленная на определение эмоциональной окраски сообщений, таких как комментарии, рецензии или твиты. Это требует не только выявления базовых эмоций, но и учета контекста и языковых особенностей.

Существующие методы анализа естественно-языковых текстов имеют ограничения при обработке сложных текстов, где эмоции часто скрыты за сложными синтаксическими структурами или распределены между разными уровнями текста. Известные методы, такие как наивный байесовский классификатор и метод опорных векторов, имеют ограничения при работе со сложными контекстными зависимостями и не всегда способны учесть многообразие способов выражения эмоций в тексте.

В последние годы активно разрабатываются подходы для классификации эмоций, включая методы машинного обучения и нейронные сети [2, 3]. В работе рассматривается решение задачи анализа эмоциональной окраски текста с помощью современных моделей машинного обучения. В качестве признаков для анализа эмоциональной окраски могут использоваться и отдельные слова, и биграммы. Каждая модель имеет свои преимущества и ограничения, и их выбор зависит от конкретной задачи, целей проекта и доступных ресурсов. Важным моментом является то, что не все существующие модели могут удовлетворять требования по точности, скорости или специфике анализа, что делает выбор подходящего решения критически важным для успешной реализации проекта. Особый интерес при этом проявляется к моделям на основе трансформеров, которые способны эффективно обрабатывать контекстную информацию и анализировать сложные лингвистические конструкции.

Сегодня среди популярных и активно используемых моделей можно выделить BERT и GPT, также их модификации и методы: RoBERTa, Encoder-Decoder, Multi-Head Attention, Self-Attention, Attention Mechanism, DistilBERT.

Bidirectional Encoder Representations from Transformers (BERT) – одна из самых эффективных на сегодня моделей для обработки текста, которая активно используется в задачах анализа эмоций и классификации текста [4]. Одним из главных преимуществ данной модели является, то, что ее можно натренировать один раз на огромном количестве данных, а потом эффективно тренировать для других задач, в которых нет большого количества данных, что делает ее мощным инструментом для различных задач NLP, включая классификацию эмоций. Однако его применение требует значительных вычислительных ресурсов, а также времени на обучение, что может быть ограничением для небольших проектов или если требуется быстрое развертывание модели. RoBERTa [5] – популярная и уже зарекомендовавшая себя модификация BERT, которая характеризуется более тщательной и разумной оптимизацией обучающих параметров для модели BERT. Считается более производительной своей базовой модели BERT практически во всех задачах. Модель DistilBERT реализует оптимизацию обучения для модели BERT за счет уменьшения размерности и увеличения скорости обработки текста. В частности, DistilBERT имеет объем на 40% меньше, чем оригинальная BERT-модель, и она на 60% быстрее ее, при этом сохраняет 97% функциональности.

На основе проведенного исследования проблемы текстового выражения эмоциональных состояний в лингвистике [6], в работе предлагается метод автоматической обработки и анализа текстов, направленный на точное выявление эмоционального контекста. В основе метода лежит трансформерная модель, базирующаяся на современной архитектуре энкодера (например RoBERTa), специально адаптированная и дообученная для задачи распознавания эмоций в текстах. Выбор трансформерной архитектуры обусловлен ее доказанной эффективностью в задачах обработки естественного языка, где требуется глубокое понимание контекста и семантики. Трансформерные модели демонстрируют особую результативность при анализе текстов разной длины и структуры, что

критически важно для обработки сообщений в цифровой коммуникации, которые могут варьироваться от коротких реплик до развернутых высказываний.

Трансформер, или трансформерная модель, реализует ключевую концепцию «механизм внимания», который изучает контекстуальные отношения между словами (или лексемами) в тексте. Архитектура трансформера оказала огромное влияние на область обработки естественного языка (NLP), заменив более старые архитектуры, такие как RNN и LSTM, благодаря своим преимуществам в реализации параллелизма и способности эффективно обрабатывать длинные зависимости в данных. В своей общей архитектуре трансформер включает два основных механизма – кодировщик, который считывает и предобрабатывает введенный текст, и декодер, который выдает прогноз для задачи. В отличие от направленных (векторных) моделей, которые считывают вводимый текст последовательно (в одном направлении), кодировщик трансформера считывает сразу всю последовательность слов. Эта особенность позволяет модели изучать контекст слова на основе всего его окружения (и слева и справа от слова). Общая структура кодировщика трансформера представлена на рисунке 1. Вход представляет собой последовательность токенов, которые сначала встраиваются в векторы, а затем передаются и обрабатываются в нейронной сети. Выход представляет собой последовательность векторов, каждый из которых соответствует входному токену с тем же индексом. В работе предложена идея использовать механизм «внутреннего внимания» (*self-attention*), который предполагает, что каждый элемент входной последовательности может учитывать все остальные элементы последовательности при обработке.

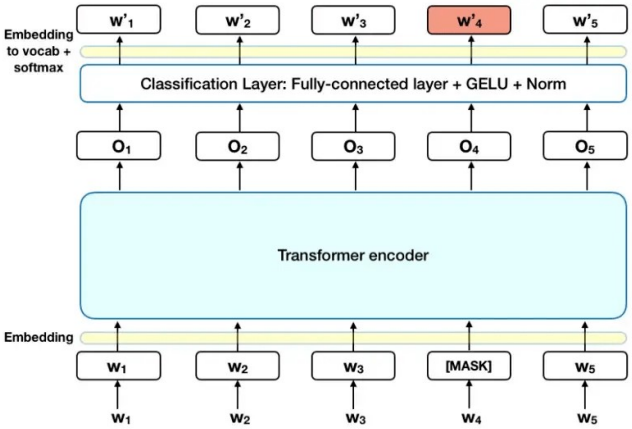


Рисунок 1 – Классическая структура кодировщика трансформера

Предлагаемый метод использует многоуровневый подход, который учитывает как глобальный, так и локальный контексты за счет последовательной обработки текста на нескольких уровнях: анализ общей эмоциональной окраски текста и выделение эмоций для отдельных предложений.

Предложенное решение показало улучшенную точность при работе с короткими сообщениями, характерными для современных платформ социальных медиа и мессенджеров. Это достигается благодаря способности системы извлекать максимум информации из ограниченного контекста путем комплексного анализа всех доступных эмоциональных маркеров. Проводится серия компьютерных экспериментов для определения показателей достигаемой точности выявления эмоционального фона для текстов разной размерности. На данный момент предварительная оценка общей точности классификации оценивается на уровне 80%, что считается хорошим показателем.

Список использованных источников:

1. Gelbukh A. (Ed.) Computational Linguistics and Intelligent Text Processing // 14th International Conference, CICLing 2013, Samos, Greece, March 24-30, 2013, Proceedings, Part I. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013. – 598 p.

2. Картер, Д. Нейросети. Обработка естественного языка / Д. Картер – «Автр», 2003. – 156 с.

3. Романов, А. С. Анализ тональности текста с использованием методов машинного обучения / А. С. Романов, М. И. Васильева, А. В. Куртукова, Р. В. Мещеряков // R. Piotrowski's Readings in Language Engineering and Applied Linguistics : Proceedings, Saint-Petersburg, 27 ноября 2017 года / St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences, Herzen State Pedagogical University of Russia. – Saint-Petersburg: Creative Commons CCO, 2018. – С. 86-95.

4. Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding / J. Devlin et al. // arXiv preprint arXiv:1810.04805. (2018). URL: https://arxiv.org/pdf/1810.04805.pdf (дата обращения: 10.04.2025).

5. RoBERTa: A Robustly Optimized BERT Pretraining Approach / Liu, Yinhan & Ott, Myle & Goyal, Naman & Du, Jingfei & Joshi, Mandar & Chen, Danqi & Levy, Omer & Lewis, Mike & Zettlemoyer, Luke & Stoyanov, Veselin. // arXiv preprint arXiv:10.48550/arXiv.1907.11692. (2019). URL: https://arxiv.org/pdf/1907.11692 (дата обращения: 10.04.2025).

6. Павлюченко, К. А. Анализ методов выявления эмоционального контекста в текстах / К. А. Павлюченко // Информационные системы и технологии : сборник статей 60-ой юбилейной научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 22–26 апреля 2024 г. / Институт информационных технологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники ; редкол.: А. И. Парамонов [и др.]. – Минск, 2024. – С. 48–45.

СИСТЕМА АНАЛИЗА КАЧЕСТВА РАБОТЫ СОТРУДНИКОВ НА ОСНОВЕ ГОЛОСОВЫХ ЗАПИСЕЙ ОБСЛУЖИВАНИЯ КЛИЕНТОВ

Пастухов К.Д., Янкова А.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Петюкевич Н.С. – ст. преподаватель

В данной работе рассматривается разработка системы анализа качества работы сотрудников на основе обработки голосовых записей взаимодействия с клиентами. Предложенный подход включает использование методов автоматического распознавания речи и обработки естественного языка для выявления ключевых характеристик и этапов коммуникации. Система позволяет оценивать эффективность работы сотрудников, степень соблюдения регламента коммуникации, корректность описаний предоставляемых услуг, выявлять проблемные зоны и предоставлять рекомендации по улучшению качества обслуживания. Экспериментальные результаты демонстрируют высокую точность анализа, что подтверждает практическую значимость разработанной системы для автоматизации контроля качества в контактных центрах и других организациях.

Основной целью разработки системы является автоматизация анализа качества работы сотрудников на основе голосовых записей взаимодействия с клиентами. Традиционные методы оценки, основанные на ручном прослушивании записей, требуют значительных временных затрат и не обеспечивают полного охвата данных. Автоматизация позволяет существенно сократить время анализа, повысить объективность оценок и обеспечить постоянный мониторинг качества обслуживания. Внедрение такой системы способствует улучшению качества работы сотрудников, оптимизации бизнес-процессов и повышению удовлетворенности клиентов за счет своевременного выявления проблемных зон.

В качестве базовой модели для автоматического распознавания речи была выбрана модель архитектуры Whisper [1], разработанная OpenAI. Данная модель демонстрирует высокую точность транскрибирования при работе с различными акустическими условиями и фоновыми шумами. Whisper реализует архитектуру трансформера, модель предварительно обучена на обширном наборе данных, что обеспечивает надежное преобразование аудиозаписей в текстовый формат с детальной временной привязкой каждого слова. Полученные временные метки являются критически важными для последующего анализа динамики диалога и выявления ключевых моментов взаимодействия между участниками.

Для решения задачи диаризации речи и разделения ролей в диалоге (клиент/сотрудник) была реализована система на основе моделей фреймворка NeMo [2] от NVIDIA. Данный подход сочетает анализ акустических характеристик голоса с контекстуальной информацией, что позволяет достичь высокой точности идентификации говорящих даже в сложных акустических условиях с наличием фоновых шумов. Модуль NeMo включает оптимизированную последовательность обработки аудиозаписи, начиная с определения сегментов с наличием речи и заканчивая определением принадлежности сегментов определённому человеку посредством модели на основе закодированных звуковых сигналов, обеспечивая надежное разделение участников диалога по ролям.

После этапа распознавания речи текстовые данные передаются в модуль обработки естественного языка, где выполняется семантический анализ содержания диалога. Используются методы машинного и глубокого обучения для определения этапов взаимодействия, выявления ключевых фраз, оценки тональности высказываний, выявления обсуждаемых продуктов и услуг и оценка корректности их описания. Система также анализирует соблюдение регламента, например, использование стандартных приветствий или предоставление необходимой информации клиенту. Модуль обработки естественного языка позволяет выявить ряд качественных аспектов и итоговых экономических эффектов коммуникации, такие как правильность выявления потребностей клиента или же факт заключения договора о предоставлении услуги.

В частности, ключевую роль в реализации указанного функционала посредством модуля обработки естественного языка играют векторные представления предложений и большая языковая модель. Векторные представления предложений обеспечивают эффективное кодирование семантической информации, позволяя системе сравнивать и анализировать контексты высказываний на основе их смыслового содержания. Эти представления формируются с использованием современных архитектур, таких как BERT [3] или его производные, которые обучены на больших корпусах текстовых данных и способны улавливать тонкие нюансы языка. Большие языковые модели, такие как модели семейства Mistral [4], в свою очередь, обеспечивают глубокое понимание контекста диалога. Благодаря своей способности улавливать сложные семантические связи и зависимости между частями текста, модель демонстрирует значительно более высокий уровень интерпретации языка по сравнению с традиционными подходами, основанными на жестких или гибких шаблонах, регулярных выражениях или простых векторных представлений слов и предложений. Она эффективно справляется с анализом параметров, которые либо полностью не покрываются стандартными

методами, либо требуют учета разнообразных формулировок и контекстуальных нюансов. Например, модель может распознать косвенные признаки интереса клиента к продукту, даже если они выражены нестандартным образом, или выявить подтекст в высказываниях сотрудника, который может повлиять на восприятие клиента. Особую роль большая языковая модель играет в извлечении описания продукта или услуги из текста и его дальнейшем анализе. Это особенно важно в ситуациях, где точность и полнота предоставляемой информации напрямую влияют на принятие решения клиентом, например, при обсуждении условий договора или деталей оказания услуги.

В ходе экспериментальных исследований система продемонстрировала высокую эффективность по всем ключевым параметрам анализа голосовых записей. Основные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Полученные результаты точности системы в экспериментальных условиях

Параметр	Точность	Описание
Точность распознавания речи	85%	Система корректно преобразует аудиозаписи в текст с учетом временных меток и шумовых условий.
Точность разделения ролей	87%	Успешная идентификация говорящих (клиент/сотрудник) даже при наличии фоновых шумов.
Соблюдение протокола общения	80%	Выявление использования стандартных приветствий, прощаний и других элементов регламента.
Корректность ответов сотрудника	82%	Проверка точности предоставляемой сотрудником информации в ответ на вопросы клиента.
Анализ описания продуктов/услуг	79%	Оценка полноты и корректности описания характеристик товаров и услуг в диалоге.
Эмоциональная окраска диалога	80%	Определение тональности высказываний и общего эмоционального фона взаимодействия.
Извлечение ключевых фраз	86%	Выявление важных моментов диалога, таких как потребности клиента или этапы принятия решения.
Метрика качества обслуживания	83%	Комплексная оценка эффективности сотрудников на основе всех выявленных параметров.

Разработанная система успешно справилась с задачами автоматического анализа голосовых записей, обеспечив высокую точность по всем ключевым параметрам. В частности, точность распознавания речи и разделения ролей составила 85% и 87% соответственно, что подтверждает надежность используемых моделей Whisper и NeMo. Анализ соблюдения протокола общения и корректности ответов сотрудников показал, что система способна эффективно выявлять отклонения от стандартов обслуживания.

Особого внимания заслуживает анализ описания продуктов и услуг, где точность достигла 86%. Это важно для минимизации рисков недопонимания между клиентом и сотрудником. Эмоциональный анализ диалога позволил оценить качество взаимодействия с точки зрения клиентского опыта. Комплексная метрика качества обслуживания, учитывающая все параметры, составила 87%, что позволяет использовать систему для ранжирования сотрудников по уровню их эффективности.

Таким образом, разработанная система анализа качества работы сотрудников на основе голосовых записей демонстрирует высокую эффективность и точность. Автоматизация процесса анализа позволяет существенно сократить трудозатраты, повысить объективность оценок и обеспечить постоянный мониторинг качества обслуживания. Комплексное использование технологий автоматического распознавания речи и обработки естественного языка открывает новые возможности для улучшения бизнес-процессов и повышения удовлетворенности клиентов. Перспективы дальнейших исследований включают совершенствование алгоритмов анализа и расширение функционала системы для поддержки многоканальных коммуникаций и многоязычных диалогов.

Список использованных источников:

1. Robust Speech Recognition via Large-Scale Weak Supervision [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://arxiv.org/abs/2212.04356. – Дата доступа: 02.02.2025.

2. NVIDIA NeMo [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://github.com/NVIDIA/NeMo. – Дата доступа: 13.02.2025.

3. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://arxiv.org/abs/1810.04805. – Дата доступа: 25.02.2025.

4. Mistral Small 3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://mistral.ai/news/mistral-small-3. – Дата доступа: 09.03.2025.

СОЗДАНИЕ ANDROID-ПРИЛОЖЕНИЯ, ПОМОГАЮЩЕГО СПОРТСМЕНАМ ОТСЛЕЖИВАТЬ РЕЗУЛЬТАТЫ

Пышный Е. С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Сурков К. А. – ст. преподаватель

Цель исследования – продемонстрировать инженерные решения, позволившие создать мобильное приложение для комплексного отслеживания спортивной деятельности, включая соревнования, тренировки, медицинские показатели, питание и спортивные сборы. В статье рассматриваются вопросы выбора технологического стека, проектирования архитектуры, реализации ключевых функций и обеспечения стабильной работы приложения. В результате показано, что выбранные подходы позволяют создать масштабное и надёжное решение, предоставляющее пользователям уникальный опыт управления своей спортивной активностью.

Современные требования к подготовке спортсменов предполагают системный подход к анализу физического состояния, тренировочных нагрузок и восстановления. Однако существующие решения часто фокусируются на отдельных аспектах (например, дневник тренировок или медицинские показатели), что усложняет формирование целостной картины. Разработка приложения, объединяющего инструменты для отслеживания соревнований, физических параметров, медицинских данных и повседневной активности, демонстрирует возможность создания универсальной платформы, автоматизирующей сбор и визуализацию ключевых метрик для спортсменов и тренеров.

Разработка мобильного приложения с широким функционалом традиционно требует значительных ресурсов, включая создание сложных механик, интеграцию аналитики и обеспечение стабильности в условиях высокой нагрузки. Однако использование современных технологий и модульной архитектуры позволило реализовать проект силами небольшой команды, минимизируя риски и ускоряя процесс разработки.

Приложение реализовано по клиент-серверной модели с использованием современных инструментов.

Клиентская часть написана на Kotlin с применением Jetpack Compose что обеспечивает адаптивный интерфейс, быструю разработку и нативную производительность на Android. Для сетевого взаимодействия выбраны Retrofit и OkHttp благодаря их стабильности, поддержке асинхронных запросов и удобной интеграции с REST API.

Серверная часть на Python с фреймворком FastAPI обеспечивает высокую скорость обработки запросов и автоматическую генерацию документации Swagger. Данные хранятся в PostgreSQL с использованием ORM SQLAlchemy, что гарантирует надежность и гибкость работы с relational-моделями. Миграции управляются через Alembic для контроля изменений схемы БД и быстрого развертывания БД на сервере.

Аутентификация реализована на основе SID-сессий, хранящихся в Redis, что обеспечивает безопасность, низкую задержку при проверке токенов и масштабируемость, а Redis применяется для кэширования и снижения нагрузки на сервер.

Архитектура приложения построена на принципе модульности. Клиентская часть включает модули для работы с соревнованиями, учебно-тренировочными сборами, результатами тестирования ОФП/СФП, результатами медицинских и комплексных обследований, а также для мониторинга антропометрических параметров и ведения дневника тренировок для мониторинга сна, питания, тренировок и активности в течении дня. Также клиент включает репозитории для синхронизации с сервером.

Ключевые функциональные возможности приложения сосредоточены на комплексном решении задач спортивной подготовки. Основной акцент сделан на инструментах для организации и контроля тренировочного процесса. Важной составляющей является система мониторинга физического состояния, позволяющая фиксировать результаты тренировок, отслеживать динамику различных антропометрических показателей и результатов тестирования физической подготовки.

Наиболее часто пользователь будет взаимодействовать с модулем дневника тренировок. В дневнике тренировок пользователь может отслеживать ключевые параметры такие как сон, питание и активность в течении дня. Для отслеживания сна пользователь фиксирует время засыпания, продолжительность сна, субъективную оценку качества сна по шкале от 1 до 10, состояние после сна от 1 до 10, а также ЧСС лежа и стоя за 15 сек. Для отслеживания питания пользователю необходимо самому добавлять приемы пищи помечая время приема, субъективную оценку аппетита перед едой, и вводить БЖУ еды с описанием, а также пользователь может добавлять количество выпитой за сутки воды и количество спортивного питания. Для отслеживания активности пользователь фиксирует субъективную оценку активности в течении дня (без учета тренировок) от 1 до 10, субъективную оценку самочувствия вечером от 1 до 10, субъективную оценку утомления за день от 1 до 10, а также время отхода ко сну. На рисунке 1 изображён дизайн экранов дневника тренировок.

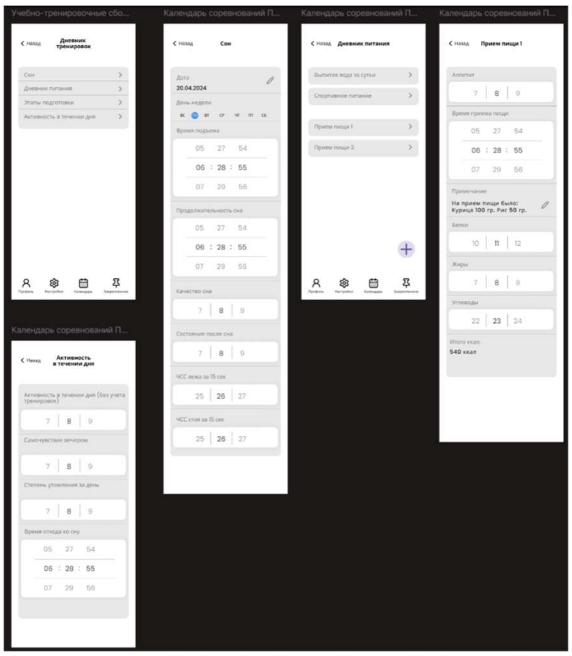


Рисунок 1 – Дизайн экранов дневника тренировок

Медицинский блок приложения обеспечивает систематизацию информации о посещениях специалистов, диагнозах и врачебных рекомендациях, создавая целостную картину состояния здоровья спортсмена.

Также приложение предоставляет возможность для сохранения результатов общего/специального физического тестирования и антропометрических параметров. По этим данным пользователь может построить график для отслеживания своего прогресса.

Еще одним из основных модулей является модуль соревнований, он предоставляет возможность для просмотра списка всех соревнований, отсортированных относительно текущей даты на прошедшие/текущие/будущие, просмотра и изменения подробной информации о соревновании, добавление нового соревнования, удаление, просмотра списка всех дней соревнования, а также просмотра и редактирования подробной информации о конкретном дне.

Особое внимание уделено обеспечению стабильности и производительности. Проведено нагрузочное тестирование сервера, оптимизированы SQL-запросы и индексация в PostgreSQL. Данные передаются по HTTPS с шифрованием алгоритмом AES-256, а резервное копирование базы выполняется ежедневно. Асинхронная обработка запросов через корутины в Kotlin и асинхронные методы FastAPI предотвращает блокировку интерфейса.

Результаты разработки подтверждают эффективность выбранных решений. Модульность архитектуры ускорила процесс разработки, Jetpack Compose обеспечил создание интуитивного интерфейса с плавными анимациями, а сочетание FastAPI и PostgreSQL гарантировало высокую производительность сервера даже при пиковых нагрузках. Приложение демонстрирует, что современные технологии позволяют небольшим командам создавать комплексные решения для профессиональных спортсменов, объединяя аналитику, безопасность и удобство использования.

Список использованных источников:

1. Jetpack Compose Docs [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://developer.android.com/develop/ui/compose/documentation – Дата доступа: 25.02.2025

СИСТЕМНЫЙ ДИЗАЙН ДЛЯ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ПРАКТИКИ РЕШЕНИЯ АЛГОРИТМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Тишалович М.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Потапов В.Д. – канд. техн. наук, доцент

Разработан системный дизайн для веб-приложения для практики решения алгоритмических задач, обеспечивающий высокую производительность и возможность горизонтального масштабирования. Предложено использование микросервисной архитектуры, протокола WebSockets, брокера сообщений Apache Kafka для решения проблем, с которыми сталкиваются программисты при разработке таких приложений.

В простейшем виде подобная система будет являться веб-приложением с клиент-серверной архитектурой, где клиентское приложение представляет собой SPA, а сервер предоставляет клиенту REST API. SPA – это реализация веб-приложения, которая загружает только один веб-документ, а затем обновляет содержимое тела этого одного документа через API JavaScript, такие как Fetch, когда необходимо отобразить другой контент [1]. REST API – это архитектурный стиль для создания веб-сервисов, основанный на стандартных HTTP-методах и принципах REST [2]. Однако, такая архитектура имеет ряд недостатков. Так как проверка решения может занимать много времени, может произойти такая ситуация, что веб-клиент не дождется ответа и, например, получит request-timeout.

Для того, чтобы избежать проблем подобного рода, необходимо отправить клиенту сообщение, что решение принято в обработку, после чего, когда решение было проверено, сервер должен отправить клиенту сообщение с результатом проверки решения задачи. Для реализации такого подхода можно использовать, например, Long Polling или WebSockets. Long polling – это техника, используемая в веб-разработке для эмуляции связи в реальном времени между клиентом (обычно веб-браузером) и сервером. В отличие от обычного HTTP-запроса, где клиент ждет ответа сразу, long polling позволяет серверу держать соединение открытым до тех пор, пока не появятся новые данные или не истечет время ожидания [3]. WebSockets – это протокол связи, который обеспечивает двустороннее (full-duplex) взаимодействие между клиентом и сервером через одно постоянное соединение. В отличие от HTTP, где клиент инициирует запросы, а сервер отвечает, WebSockets позволяют обеим сторонам отправлять данные в любой момент без необходимости повторного установления соединения [4]. WebSockets – является более современной технологией, чем Long polling, причем сообщения в технологии WebSockets доставляются мгновенно, так как соединение постоянно открыто, в отличие от задержек в Long polling при периодических запросах. Поэтому для данной системы было решено использовать WebSockets. Таким образом, для отправки сообщения клиент использует WebSockets для общения с сервером, а для остальных целей общается с сервером через REST API.

Однако, стоит заметить, что в таком случае не решается проблема с перегруженностью сервера, так как ему в любом случае нужно будет тратить много ресурсов на проверку решений. Для того, чтобы сервер, с которым напрямую взаимодействуют клиенты не перегружался, было решено использовать отдельные сервисы, которые будут заниматься проверкой решений задач. В таком случае также появляются проблемы, связанные с тем, как сервису, с которым общается клиент, передавать решения сервисам проверки. Одним из решений может быть отдельная база данных, в которой будут складываться решения, которые необходимо проверить, а сервисы для проверки решений будут вытягивать из неё эти решения. Однако, в таком случае необходимо полностью разработать логику по распределению решений между сервисами по проверке решений. Вместо этого возможно использовать готовое решение – брокер сообщений, который предоставляет собой производительный способ для передачи сообщений от отправителя к получателям. Брокер сообщений – это программное обеспечение, которое позволяет приложениям, системам и службам взаимодействовать друг с другом и обмениваться информацией [5]. Одним из таких брокеров сообщений является Apache Kafka. Apache Kafka – это распределённая платформа для потоковой обработки данных, разработанная для высокопроизводительного, отказоустойчивого и масштабируемого обмена сообщениями между системами [6]. С помощью данного брокера сервис, взаимодействующий с клиентом, будет только получать решения и сразу же добавлять их в очередь, откуда сервисы по проверке решений будут их вынимать тогда, когда будут свободны. Данное решение позволяет убрать нагрузку с сервера, который взаимодействует с клиентами, так и позволить системе расширяться горизонтально, так как количество сервисов, занимающихся проверкой решений, можно варьировать в зависимости от того, какая нагрузка у платформы.

Стоит заметить, что в данном решении сервер, с которым взаимодействуют клиенты, выполняет много различных функций, как обработка отправленных решений по WebSockets, так и получение всей остальной информации через REST API. Это подвергает данный сервер лишней нагрузке. Этой

проблемы можно избежать, разбив данный сервер на отдельные сервисы, каждый из которых будет заниматься только определённой задачей. Это не только увеличит производительность, но также и устойчивость, так как остальные сервисы будут продолжать работать даже в том случае, если какой-то из них станет недоступен. Следующим недостатком данной системы является единственная база данных. Это решение является плохим как с точки зрения производительности, так и безопасности. Для устранения данных проблем было решено выделить отдельную базу данных для каждого сервиса. Причем, с точки зрения безопасности необходимо создать отдельную базу данных для сервисов по проверке решений. Это позволит обеспечить уверенность в том, что тесты, на которых проверяются задачи, не будут получены злоумышленниками или же случайно отправлены клиенту. Однако, при появлении множества сервисов, появляется проблема того, что клиенту нужно обращаться ко всем сервисам отдельно, что не является удобным. Для решения этой проблемы было решено использовать паттерн API Gateway. API Gateway представляет собой шлюз, который является единой точкой входа для всех клиентов. Данный шлюз обрабатывает запросы одним из двух способов: некоторые запросы просто проксируются/маршрутизируются в соответствующую службу, а другие запросы он обрабатывает, разветвляясь на несколько служб [7]. Полученная система изображена на рисунке 1.

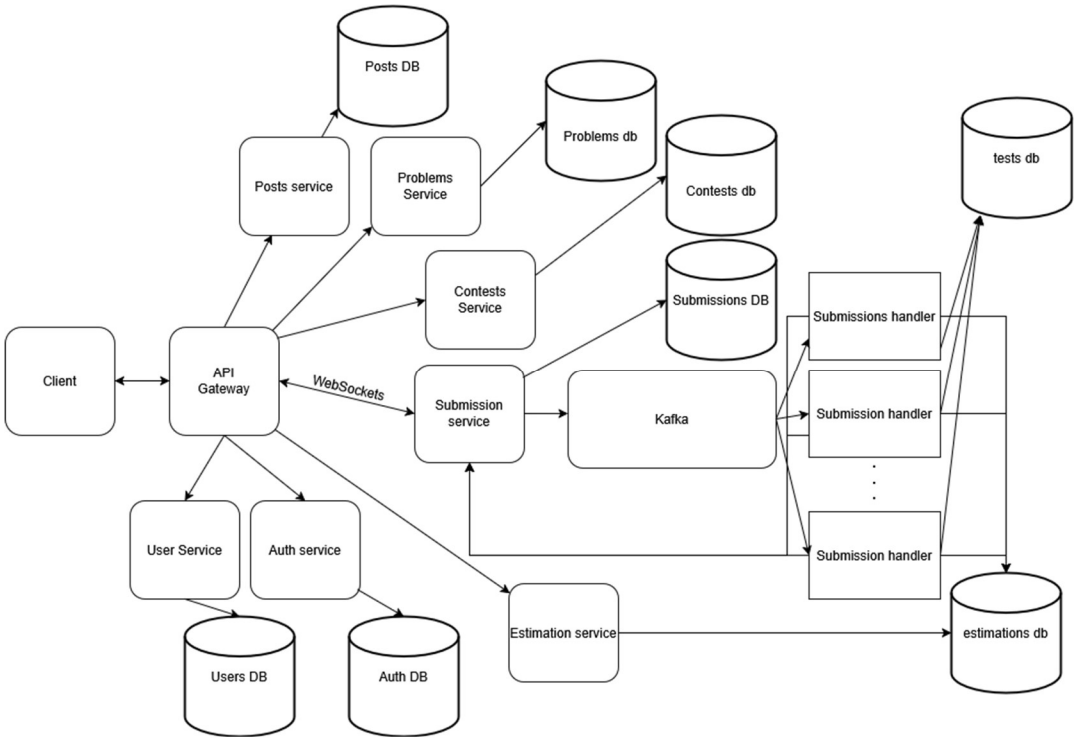


Рисунок 1 – Финальная версия системного дизайна

В результате разработки системного дизайна предложено использование микросервисной архитектуры для серверной части приложения, где используется REST API для получения информации о задачах, турнирах, пользователях, постах и используется протокол WebSockets для отправки решений задачи. Также было предложено использование брокера сообщений Apache Kafka для распределения отправленных решений между микросервисами проверки решений.

Список использованных источников:

1. Mozilla SPA [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Glossary/SPA. – Дата доступа: 31.03.2025.

2. Amazon RESTful API [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://aws.amazon.com/ru/what-is/restful-api/. – Дата доступа: 31.03.2025.

3. Pub num Long Polling [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.pubnub.com/guides/long-polling/. – Дата доступа: 31.03.2025.

4. MDN WebSockets [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/WebSockets_API. – Дата доступа: 31.03.2025.

5. IBM Message Broker [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.ibm.com/think/topics/message-brokers. – Дата доступа: 31.03.2025.

6. Apache Kafka [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://kafka.apache.org/. – Дата доступа: 31.03.2025.

7. Microservices IO API Gateway [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://microservices.io/patterns/apigateway.html. – Дата доступа: 31.03.2025.

ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА НА ПРИМЕРЕ СЕРВИСА ТАКСИ

Сапраньков Ф.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Мелких Е.Г. – ст. преподаватель

На сегодняшний день разработка программных средств с использованием клиент-серверной архитектуры, таких как сервис такси, сталкивается с проблемой обеспечения быстрого и надёжного выпуска обновлений в условиях наличия сложных взаимосвязей между программными компонентами разрабатываемого программного средства такими как микросервисы и веб-клиенты. В данной статье рассматривается решение на основе внедрения CI/CD-процессов с использованием GitLab CI/CD и Kubernetes, позволяющее автоматизировать сборку, тестирование и развёртывание компонентов системы.

Современные клиент-серверные приложения сталкиваются с рядом сложностей, связанных с их архитектурой и процессами разработки. Как правило, такие системы включают серверную часть (например, Java с использованием фреймворка Spring) и клиентскую часть (например, веб-интерфейс на React), что создаёт высокую нагрузку на координацию команд, тестирование и развёртывание. Традиционные подходы, основанные на ручных операциях, часто приводят к ошибкам, увеличению времени выпуска релизов и конфликтам между компонентами. Например, обновление API сервера без проверки совместимости с клиентской частью может нарушить работу приложения, а ручная сборка Docker-контейнеров может оказаться длительной в случае большого числа микросервисов, используемых в приложении.

Цель данной статьи – рассмотреть способ адаптации программного средства сервиса такси с клиент-серверной архитектурой (на основе микросервисов Java с использованием Spring и веб-клиента на React) к production-среде через внедрение CI/CD-процессов.

В данной статье рассматриваются 4 этапа по разработке многокомпонентной системы сервиса такси: CI/CD-процессы, управление окружением, использование мониторинга, применение канареечный релизов.

CI/CD (Continuous Integration/Continuous Deployment) представляет собой методологию, направленную на автоматизацию ключевых этапов жизненного цикла программного обеспечения, включая интеграцию кода, его тестирование и доставку в production. Данный подход минимизирует риски, связанные с ручными операциями, и обеспечивает высокую скорость выпуска обновлений, что особенно критично для распределённых систем, таких как клиент-серверные приложения сервисов такси. Графическое представление основных этапов CI/CD отражено на рисунке 1.

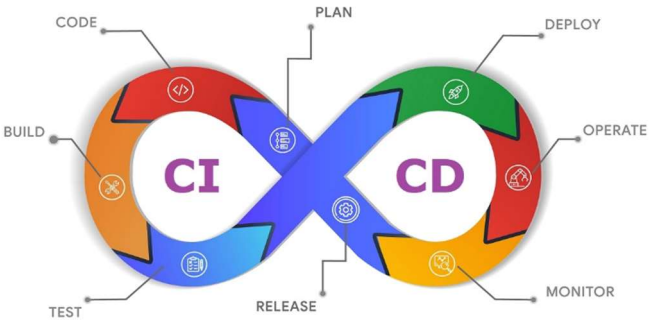


Рисунок 1 – Основные этапы CI/CD-процессов

Далее приводятся три основных вида окружений, используемых в CI/CD-процессах. Окружение представляет собой совокупность конфигураций, используемых в инструментах и платформах для разработки программного обеспечения. Dev-окружение (Development Environment) предназначено для разработки и первичного тестирования кода. Здесь программисты пишут и отлаживают новые функции, интегрируют модули и проверяют их в изолированной среде, недоступной внешним пользователям. В dev-окружении часто используются упрощённые конфигурации, а версии кода могут быть нестабильными, так как они находятся в активной фазе разработки. Stage-окружение (Staging Environment) имитирует production-среду и используется для финального тестирования перед выпуском. Здесь проверяется совместимость компонентов, нагрузочная устойчивость и корректность работы системы в условиях, приближенных к реальным. В stage-окружении разворачиваются стабильные версии кода, прошедшие CI/CD-pipeline, и проводится тестирование с участием QA-инженеров. Prod-окружение (Production Environment) – это реальная среда, в которой приложение

доступно конечным пользователям. Здесь отключены отладочные инструменты, включено логирование ошибок, и система настроена на максимальную производительность и безопасность. Изменения в prod-окружение вносятся только после полного тестирования в dev и stage, а деплой выполняется через автоматизированные CI/CD-процессы.

Continuous Integration (CI) фокусируется на непрерывной интеграции изменений в общий репозиторий системы контроля версий. Разработчики многократно вносят правки в код, который автоматически собирается и проверяется на соответствие стандартам качества. На этом этапе выполняется планирование по реализации функций, написание программного кода, далее осуществляется автоматическая сборка артефактов с использованием инструментов, таких как Maven для Java или npm для React. После сборки проводится тестирование, включая модульные тесты, интеграционные проверки и статический анализ кода, что позволяет выявлять ошибки на ранних стадиях. Каждая сборка ассоциируется с конкретным коммитом, что обеспечивает отслеживаемость изменений и возможность отката к стабильным версиям.

Continuous Deployment (CD) обеспечивает автоматическую доставку проверенного кода в production-окружение, исключая ручные этапы развертывания. Ключевым элементом здесь является контейнеризация: микросервисы Spring Boot и React-клиент упаковываются в Docker-контейнеры, что гарантирует идентичность окружений (dev, stage, prod) и устраняет проблемы с зависимостями. Для управления развёртыванием контейнеров используется Kubernetes, который автоматически масштабирует сервисы, балансирует нагрузку и обеспечивает откат ошибочных версий. Важным аспектом CD являются канареечные релизы, при которых обновления постепенно внедряются для части пользователей, что снижает риски критических сбоев.

Для использования CI/CD-процессов при разработке сервиса такси предлагается использовать платформу GitLab [1] как основу для pipeline. Pipeline – ядро CI/CD-процессов, представляет собой последовательность скриптов, управляющих сборкой, тестированием и развертыванием. Для разрабатываемого программного средства он включает следующие этапы: серверная часть собирается с помощью фреймворка Maven с последующей упаковкой в Docker-образы, которые содержат зависимости, такие как JRE и библиотеки Spring. Тестирование API и проверка совместимости с клиентской частью также входят в pipeline. Клиентская часть требует установки npm-пакетов, сборки оптимизированной версии приложения, проверки типов и E2E-тестирования [2]. Для управления контейнерами подходит Kubernetes, автоматизирующий развёртывание, масштабирование и балансировку нагрузки. Обратная совместимость обеспечивается проверкой изменений в API сервера через Swagger или OpenAPI перед развертыванием, благодаря этому можно избежать конфликтов в запросах между клиентом и севером.

Специфика клиент-серверных приложений связана с неоднородностью компонентов. Серверные микросервисы зависят от Java-библиотек и требуют настройки Spring Cloud Config для управления конфигурациями, при этом клиентская часть интегрируется с Node.js и требует оптимизации статических файлов для CDN [3]. Управление окружениями для сервиса такси предлагается реализовать через разделение переменных для dev, stage и prod с использованием инструментов, таких как Vault или Kubernetes Secrets.

Важным этапом в процессах поставки и интеграции является мониторинг многокомпонентной системы. Он позволяет отслеживать метрики и автоматически откатывать неудачные обновления. Такой подход снижает нагрузку на команды, ускоряет цикл разработки и повышает надёжность сервиса. В качестве инструмента мониторинга для сервиса такси можно использовать Prometheus.

Для минимизации рисков при обновлениях сервиса такси предлагается применение канареечных релизов. Данные релизы осуществляются через развертывание двух версий программного обеспечения: более старой, но стабильной, которая доступна большей части пользователей и новой, с применением последних изменений, но имеющей потенциальные проблемы и доступной лишь небольшой группе пользователей. Для каждой из версий контролируется трафик и отслеживается состояние. В случае, когда обновленная версия работает без возникновения критических ошибок и с приемлемым уровнем производительности, осуществляется постепенный перевод всех пользователей на новую версию программного обеспечения.

CI/CD-процессы являются необходимым элементом современной разработки, особенно для распределённых систем. Предложенные в статье методы и инструменты автоматизации сборки, тестирования и развёртывания сервиса такси позволяют адаптировать клиент-серверное приложение к production-среде, минимизируя риски и ускоряя выход обновлений. Данные решения для сервиса такси могут быть по шаблону применены на различные проекты с клиент-серверной архитектурой.

Список использованных источников:

1. Gitlab CI: Features Overview, Tutorials and Best Practices [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: https://codefresh.io/learn/gitlab-ci/ Дата доступа: 01.04.2025.

2. E2E Testing [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: https://microsoft.github.io/code-with-engineering-playbook/automated-testing/e2e-testing/ Дата доступа: 03.04.2025.

3. Gilbert Held. A Practical Guide to Content Delivery Networks (2nd edition) / Gilbert Held – CRC Press, 2018. – 304 с.

МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ АНАЛИЗА ВИБРОСИГНАЛОВ

Стахнов Н.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Бранцевич П.Ю. – доктор техн. наук, доцент

Показана актуальность использования мобильных устройств для обработки и анализа вибрационных сигналов. Разработано мобильное приложение анализа вибросигналов, в котором реализованы базовые методы цифровой обработки сигналов. Исследована возможность использования внутренних датчиков мобильных устройств в качестве первичных вибрационных преобразователей сигналов.

В последние годы наблюдается стремительное развитие мобильных технологий, что предоставляет новые возможности для их применения в различных областях науки и техники. Одним из перспективных направлений является использование мобильных устройств для анализа вибрационных сигналов. Это позволяет оперативно проводить диагностику и мониторинг технического состояния оборудования по параметрам вибрации без необходимости использования специализированных, дорогостоящих программно-аппаратных средств, что значительно упрощает и удешевляет процесс контроля [1].

Современные смартфоны и планшеты оснащены высокочувствительными датчиками, позволяющими измерять ускорения и угловые скорости. Это делает их пригодными для регистрации вибрационных сигналов. Мобильные устройства широко распространены и легко транспортируются, что позволяет проводить измерения в различных условиях без необходимости использования громоздкого оборудования. Также благодаря постоянному доступу к сети Интернет и облачным сервисам, результаты анализа могут быть быстро переданы специалистам для более детальной обработки и принятия решений.

Для анализа вибрационных сигналов с помощью мобильных устройств было разработано мобильное программное средство (ПС), работающее под управлением ОС Android, В ПС реализованы базовые методы цифровой обработки сигналов такие как: цифровая фильтрация, быстрое преобразование Фурье, вейвлет-преобразование и дискретное преобразование Гильберта [2].

Входным данными для ПС являются файлы оцифрованных вибросигналов специального формата. Дополнительно в ПС реализована функция сбора и обработки данных с внутреннего МЭМС-акселерометра мобильного устройства, что позволяет использовать его в качестве первичного вибрационного преобразователя. ПС выполнено в среде IDE Android Studio с использованием языков программирования Kotlin и Java.

На рисунке 1 приведен пользовательский интерфейс программного средства.

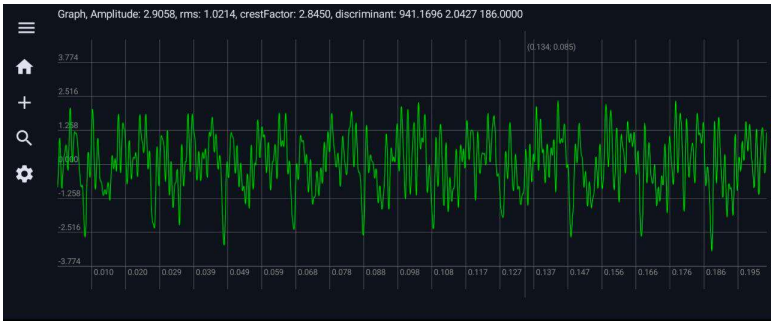


Рисунок 1 – Пользовательский интерфейс программного средства

Таким образом, современные мобильные устройства могут использоваться для анализа вибрационных сигналов, отражающих работу технических объектов, что позволяет создавать доступные и эффективные инструменты для оценки их технического состояния.

Список использованных источников:

1. Бранцевич, П. Ю. Цифровая обработка вибрационных сигналов / П. Ю. Бранцевич. – Минск: Бестпринт, 2022. – 297 с.
2. Лайонс, Р. Цифровая обработка сигналов / Р. Лайонс. – М.: Бином, 2006. – 656 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ПАТТЕРНА FAN-OUT ДЛЯ ОБНОВЛЕНИЯ ЛЕНТЫ В ПРИЛОЖЕНИИ ДЛЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ТЕМАТИЧЕСКИХ СООБЩЕСТВАХ

Алексеева К.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Петюкевич Н.С. – ст. преподаватель

Современные платформы для тематических сообществ должны обеспечивать быстрое обновление контента, чтобы поддерживать интерес и связь между участниками сообществ. Обычные способы обработки данных часто уступают под напором активности, создавая задержки в доставке публикаций и снижая динамику общения. Разработанное веб-приложение использует паттерн Fan-out, который позволяет платформе оперативно отображать новые публикации в пользовательских лентах.

В последние годы наблюдается стремительный рост интереса к тематическим сообществам. Пользователи всё чаще объединяются вокруг общих интересов – будь то кулинария, путешествия или технологии – и предъявляют высокие ожидания к цифровым платформам, обеспечивающим их взаимодействие. Одним из ключевых компонентов таких приложений является персонализированная лента, призванная оперативно отображать новые публикации в рамках сообществ, на которые подписан пользователь.

Традиционные подходы к формированию ленты, основанные на периодическом опросе базы данных, сталкиваются с рядом существенных ограничений. Они приводят к задержкам в отображении актуального контента и создают значительную нагрузку на сервер, особенно в условиях высокой активности пользователей. В результате ухудшается пользовательский опыт, негативно сказываясь на удержании аудитории, для которой своевременность информации имеет первостепенное значение.

Проблемы становятся особенно заметными при масштабировании. Когда число публикаций и пользователей растет, частые обращения к базе данных для чтения публикаций и формирования лент становятся неэффективными, так как требуют значительных ресурсов и увеличивают время отклика.

Для решения этих задач в разработанном приложении применен паттерн Fan-out, который обеспечивает доставку новой публикации в ленты всех подписчиков сразу после ее создания. Это позволяет обновлять контент асинхронно, минимизируя обращения к базе данных и снижая нагрузку на систему [1].

Приложение построено на микросервисной архитектуре с использованием современных технологий. Серверная часть реализована на ASP.NET Core, клиентская – на Angular. PostgreSQL выступает основным хранилищем для долговременных данных. Redis применяется для кэширования лент пользователей, так как обеспечивает быстрый доступ к данным в памяти [2].

Когда пользователь создает новую публикацию, сервис публикаций отправляет событие в Apache Kafka, распределенную платформу для потоковой обработки событий. Kafka выступает в роли посредника, обеспечивая надежную и масштабируемую передачу событий заинтересованным сервисам.

Сервис обработки событий, подписанный на соответствующие топики в Kafka, получает это событие и начинает процесс обновления лент. Для определения, какие пользователи должны увидеть публикацию, сервис использует данные о подписках. Их он получает из сервиса сообществ через gRPC запросы.

Сервис обработки событий извлекает список пользователей, связанных с сообществом публикации, и для каждого такого пользователя добавляет публикацию в их ленту, хранящуюся в Redis. Этот и является сутью паттерна Fan-out: одно событие (новая публикация) распространяется на множество назначений (ленты пользователей).

Паттерн Fan-out в сочетании с Kafka и Redis позволяет быстро обновлять ленты даже при высокой нагрузке. Это обеспечивает отзывчивость системы, способной обрабатывать тысячи событий в секунду. Распределенная архитектура гарантирует стабильность и масштабируемость.

В итоге применение паттерна Fan-out и микросервисной архитектуры эффективно решает задачу быстрой доставки контента в тематических сообществах. Решение готово к росту аудитории и создает основу для дальнейшего развития платформы, поддерживая высокую производительность и вовлеченность пользователей.

Список использованных источников:

1. The Architecture Twitter Uses to Deal with 150M Active Users, 300K QPS, a 22 MB/S Firehose, and Send Tweets in Under 5 Seconds [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://highscalability.com/the-architecture-twitter-uses-to-deal-with-150m-active-users.

2. Building Scalable News Feed Applications Using Redis and Cassandra [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://thenewstack.io/building-scalable-news-feed-applications-using-redis-and-cassandra.

ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО МЕТОДА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЙ

Завалюк Д.Н.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Клебан А.Е. – ст. преподаватель

В данной работе рассматриваются методы моделирования и реализации навигации внутри помещений с использованием анализа данных от беспроводных источников. Описаны основные подходы к определению местоположения в закрытых пространствах, включая методы триангуляции, фильтрации данных, а также описан комбинированный метод. Полученные данные могут быть применены в различных областях, включая логистику, умные здания и системы мониторинга передвижения пользователей.

Современные системы навигации хорошо зарекомендовали себя при использовании на открытых территориях, однако при перемещении внутри зданий их эффективность существенно снижается. Это связано с рядом факторов. Традиционные спутниковые технологии, включая GPS, неспособны обеспечить требуемую точность в ограниченных пространствах из-за слабого сигнала, искажений и задержек. В связи с этим возникает необходимость в создании новых методов, способных эффективно решать задачи навигации в помещениях.

С развитием мобильных устройств и ростом вычислительных мощностей стало возможным проектировать программные решения, обеспечивающие точное определение положения пользователя внутри зданий. Однако внутренняя навигация остаётся нетривиальной задачей. Радиосигналы, используемые в таких системах, подвержены различным искажениям: они могут затухать, отражаться от стен и мебели, а также мешать друг другу, вызывая интерференцию. Поэтому важно применять сложные алгоритмы, способные адаптироваться к меняющимся условиям окружающей среды и эффективно справляться с внешними помехами.

Для навигации внутри зданий наиболее часто применяются два подхода: с использованием активных и пассивных компонентов.

В системах с активными устройствами применяются такие технологии, как инфракрасные сигналы, ультразвук, Wi-Fi и Bluetooth. Эти системы используют маяки, которые передают сигналы, улавливаемые смартфонами или другими устройствами пользователя. На основе анализа полученных сигналов можно определить местоположение пользователя относительно источников сигнала и, соответственно, внутри помещения. Такой способ позволяет в реальном времени отслеживать движение, отправлять уведомления и персонализированную информацию. Дополнительным плюсом является возможность анализа потоков людей для оптимизации процессов в таких местах, как торговые центры, аэропорты или производственные предприятия.

В отличие от активных решений, навигационные системы пассивного типа опираются на такие технологии, как RFID, QR-коды и NFC [1]. В подобных системах по ключевым точкам помещения размещаются специальные метки, с которыми пользователь может взаимодействовать для определения своего положения и получения информации о направлении движения. Преимуществами таких решений являются простота внедрения и минимальные требования к инфраструктуре. Однако пассивные системы обладают и рядом ограничений, включая невозможность отслеживания передвижения в режиме реального времени, ограниченную точность и зависимость от нахождения пользователя в зоне действия контрольных точек.

Часто пассивные технологии применяются в образовательных учреждениях или административных зданиях, где навигация строится между определёнными точками – например, номерами аудиторий. Пользователь указывает начальную и конечную точку маршрута, после чего система рассчитывает путь. Основой для алгоритма маршрутизации, как правило, служит усовершенствованный вариант алгоритма Дейкстры – A**.

Когда речь идёт об использовании Wi-Fi или Bluetooth для локализации, применяются два основных метода. Первый из них – трилатерация – основан на определении координат объекта посредством вычисления расстояний между ним и несколькими датчиками. Эти расстояния определяются на основе интенсивности сигнала, принимаемого устройством, что напоминает методы, используемые в гидроакустических системах.

Второй метод предполагает определение положения пользователя на основе сопоставления текущих уровней сигнала с заранее собранной базой данных значений, привязанных к конкретным точкам пространства. Такая база называется «радиоотпечатком» и представляет собой карту распределения сигналов внутри помещения. Достоинством этого метода является возможность использования существующей инфраструктуры, например, Wi-Fi-сетей. Однако следует учитывать и

недостатки: необходимость предварительной калибровки, ограниченная точность из-за вариативности сигналов и наличие разрывов в покрытии карты.

В данной работе рассматривается комбинирующий метод, который позволяет нивелировать недостатки методов Wi-Fi, Bluetooth и датчиков телефона по отдельности.

В ходе проведения работы была проведена серия моделирований с использованием различных методов позиционирования. В ходе экспериментов рассматривались как отдельные технологии, такие как BLE (Bluetooth Low Energy) и Wi-Fi, так и комбинированные подходы с использованием IMU-сенсоров. Основной целью моделирования было оценить влияние каждого метода на точность позиционирования и продемонстрировать эффективность гибридного подхода для улучшения точности вычислений.

Для первого этапа моделирования был выбран метод позиционирования с использованием BLE, при котором координаты пользователя рассчитывались на основе сигналов, получаемых от BLE-маяков. Сигнал с каждого маяка характеризуется уровнем RSSI (Received Signal Strength Indicator), который используется для расчета расстояния до маяка.

После выполнения моделирования, были получены предсказанные координаты пользователя, которые затем были сопоставлены с реальной позицией (например, в центре помещения). Визуализация показала, что использование только BLE дает ошибку порядка 2 метров, что является приемлемым для многих приложений, но все же недостаточным для более точных задач.

На третьем этапе моделирования был реализован комбинированный подход, который включает использование как BLE, так и Wi-Fi. Для этого было рассчитано среднее расстояние между устройством и маяками, что позволило улучшить точность позиционирования по сравнению с использованием только одного метода. При комбинированном использовании BLE и Wi-Fi ошибка позиционирования снизилась до 1.5 метров, что значительно улучшило точность по сравнению с использованием только одного метода.

Для дальнейшего повышения точности позиционирования в систему были добавлены данные от IMU-сенсоров. IMU-сенсоры включают в себя акселерометр, гироскоп и магнитометр, которые позволяют отслеживать движение пользователя, его ускорение и направление.

С помощью данных с IMU-сенсоров можно более точно отслеживать изменение положения устройства, особенно когда оно перемещается между маяками. В результате добавления IMU-сенсоров ошибка позиционирования была снижена до 1 метра, что является высокоточными результатами для систем внутренней навигации.

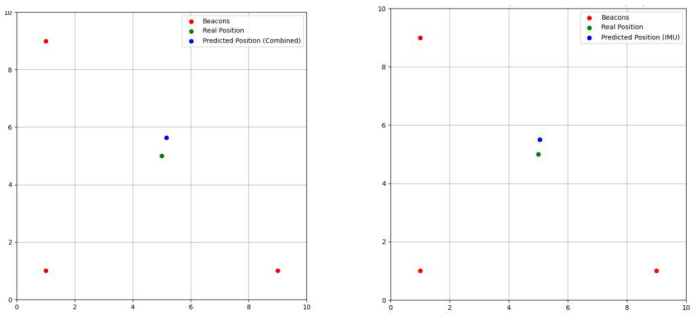


Рисунок 1 – Схемы моделирования результатов позиционирования пользователя в зависимости от комбинации методов (слева направо): BLE и Wi-Fi, BLE, Wi-Fi и IMU

Моделирование показало, что использование гибридного подхода, включающего BLE, Wi-Fi и IMU-сенсоры, дает наилучшие результаты позиционирования. Комбинированное использование BLE и Wi-Fi позволяет снизить ошибку позиционирования до 1.5 метров, а добавление IMU-сенсоров улучшает точность до 1 метра. Результаты моделирования отражены на рисунке 1.

Современные системы навигации внутри помещений продолжают развиваться и совершенствоваться. Несмотря на существующие вызовы, такие как сложность работы с радиосигналами в ограниченных пространствах, использование гибридных методов и интеграция новых технологий открывают новые горизонты для создания высокоточных и адаптивных навигационных систем. Эти инновации могут существенно изменить подходы к управлению пространством в таких областях, как торговля, образование, логистика и здравоохранение, и способствовать созданию более умных и эффективных инфраструктур.

Список использованных источников:

1. Монгуш, А. В. Обзор технологий INDOOR-навигации / А. В. Монгуш, П. М. Кикин // ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ, Том 9, №1 – 2017 – сс. 119-123.

2. Кошелев, Б.В. О возможности использования смартфонов для навигации внутри помещений / Б.В. Кошелев, Н.А. Карагин // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 9. Ч. 2 – 2017 – сс. 131-140.

УПРАВЛЕНИЕ ЦВЕТОМ RGB-СВЕТОДИОДА ПОСРЕДСТВОМ ИНТЕРФЕЙСА UART НА FPGA

Крагель В.А., Бобрик А.Ю.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Скиба И.Г. – ассистент

В работе рассмотрены особенности управления цветом трехканального светодиода посредством модуля UART на программируемой логической интегральной схеме. Предложены способы управления яркостью отдельных каналов светодиода с использованием широтно-импульсной модуляции и получения данных о цвете с персонального компьютера.

Программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) предоставляют широкие возможности для разработки и реализации разнообразных цифровых систем за счёт своей гибкой архитектуры и возможности динамической конфигурации логических схем. Одним из наиболее известных типов ПЛИС являются Field-Programmable Gate Arrays (FPGA), позволяющие программировать и оптимизировать схемы для решения специфических задач в области цифровой обработки сигналов, управления периферийными устройствами и прототипирования сложных систем [1].

В данной работе рассматривается реализация управления цветом RGB-светодиода посредством передачи данных с персонального компьютера (ПК) по интерфейсу UART. Протокол асинхронной последовательной передачи данных используется для обмена информацией между различными электронными устройствами, включая микроконтроллеры, FPGA и персональные компьютеры. Использование UART в качестве средства передачи данных обеспечивает эффективную коммуникацию между ПК и FPGA, позволяя управлять светодиодом в реальном времени.

Для управления яркостью отдельных цветовых компонент RGB-светодиода на FPGA применяется метод широтно-импульсной модуляции (ШИМ). ШИМ основывается на генерации последовательности импульсов фиксированной частоты, ширина которых изменяется в зависимости от требуемого уровня яркости светодиода. Основной принцип работы метода заключается в изменении среднего значения управляющего сигнала пропорционально изменению длительности сигнала при подаче на светодиод импульсного сигнала с переменным коэффициентом заполнения. Коэффициент заполнения определяется отношением длительности высокоуровневого состояния (t) к общему периоду сигнала (T):

$$\gamma = \frac{t}{T} \tag{1}$$

Кроме того, широтно-импульсная модуляция позволяет аппроксимировать аналоговый сигнал. На рисунке 1 представлен пример аппроксимации аналогового сигнала с использованием ШИМ. Изменяя коэффициент заполнения, можно добиться уровня средней мощности, эквивалентного определённому аналоговому напряжению. При высоком коэффициенте заполнения светодиод получает больше энергии за период времени, что приводит к увеличению его яркости, при низком коэффициенте заполнения яркость светодиода уменьшается.

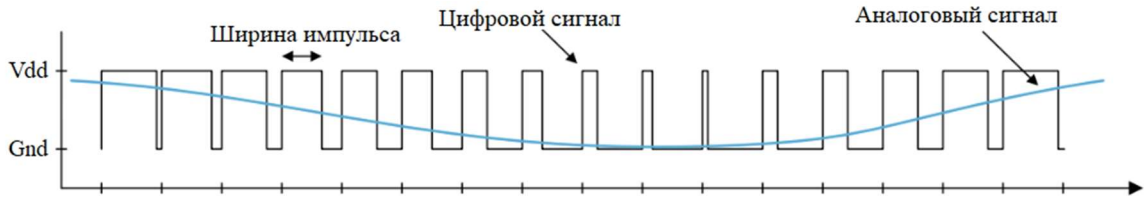


Рисунок 1 – Аппроксимация аналогового сигнала посредством широтно-импульсной модуляции

Для управления цветом светодиода формируется несколько независимых ШИМ-каналов, каждый из которых управляет соответствующей красной, зелёной или синей цветовой компонентой. Дополнительно для хранения текущего состояния цвета используются регистры с разрешением, разрядность которых соответствует разрядности отдельных каналов цвета [2].

Получение данных о цвете осуществляется посредством приема последовательной информации по интерфейсу UART. Протокол UART характеризуется передачей каждого байта данных в виде пакета, состоящего из стартового бита, определённого числа информационных бит, стопового бита и, при

необходимости, контрольного бита. На рисунке 2 представлена используемая в разработанном решении схема получения данных, в которой пакет состоит из стартового бита, 8 информационных бит и стопового бита.

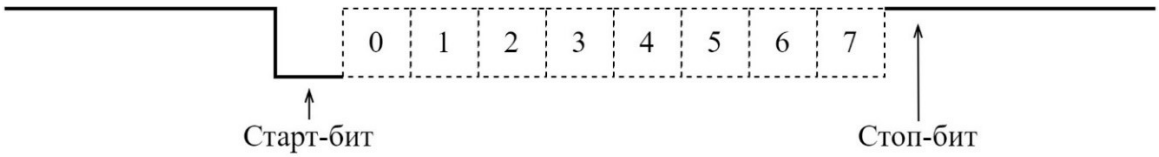


Рисунок 2 – Схема получения байта данных по UART

Для конфигурации UART используется параметр Baud Rate, определяющий скорость передачи данных в битах в секунду. Его значение влияет на преобразование тактового сигнала так, что входной тактовый сигнал делится на данное значение для формирования тактов, соответствующих выбранной скорости передачи.

В выполненной работе используется функция приема данных по UART. Обработка сигнала осуществляется посредством конечного автомата, схема которого изображена на рисунке 3. Данный конечный автомат обеспечивает последовательное считывание одного байта за цикл своей работы [3]. После стопового бита полученный байт выводится на шину и устанавливается флаг завершения чтения данных, который сбрасывается при переходе конечного автомата в состояние старт-бита. Такой подход позволяет интегрировать компонент в цифровую схему для формирования сигналов, управляющих регистрами каналов светодиода.

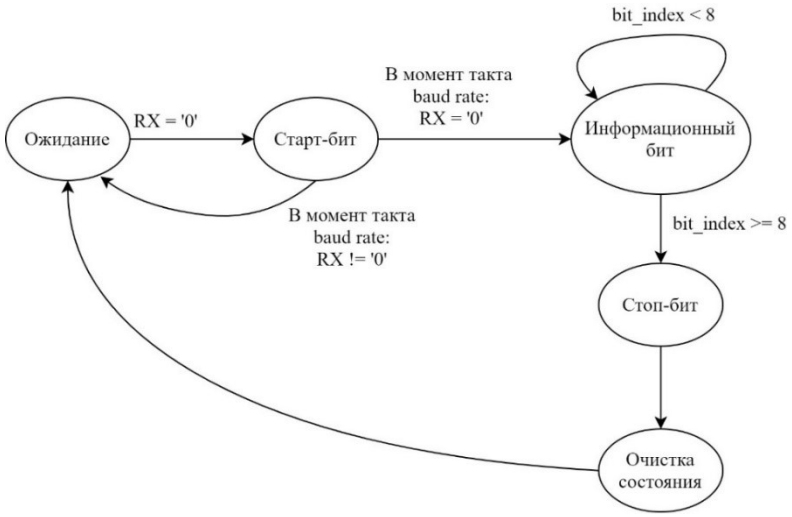


Рисунок 3 – Конечный автомат получения байта данных по UART

Работа компонента, связывающего полученные байты с регистрами цветовых компонент, основана на поиске определённого префикса в потоке данных, служащего признаком начала последовательности управляющих цветом байтов. После обнаружения данного префикса модуль принимает последовательно три байта, каждый из которых соответствует значению яркости для красной, зелёной и синей компонент цвета. Полученные значения записываются в соответствующие регистры, что позволяет в дальнейшем применять их для формирования аналоговых уровней яркости посредством ШИМ.

В данной работе было реализовано управление цветом RGB-светодиода на FPGA с использованием UART для асинхронного приёма данных и их последующей обработки. Это позволило осуществить управление цветом светодиода с ПК посредством передачи управляющих последовательностей по UART на FPGA, где полученные данные преобразуются в сигналы, определяющие яркость каждой из цветовых компонент. В ходе тестирования схемы было обнаружено, что яркость светодиода может быть некомфортна для глаз. Для устранения данной проблемы авторами работы предлагается увеличить период широтно-импульсной модуляции, что приведёт к ограничению максимального значения коэффициента заполнения и снижению яркости светодиода.

Список использованных источников:

1. Уэйкерли, Дж. Проектирование цифровых устройств, том 1 / Уэйкерли, Дж. – Москва : Постмаркет, 2002 – 544 с.
2. FPGA Prototyping by VHDL Examples: Xilinx Spartan-3 Version / Pong P. Chu // John Wiley & Sons, 2008.
3. VHDL for Engineers / Kenneth L. Short // Pearson, 2020.

ОПТИМИЗАЦИЯ ОБНАРУЖЕНИЯ КОЛЛИЗИЙ МЕЖДУ ОБЪЕКТАМИ В ТРЕХМЕРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Абрашин Т.Ю., Радецкий А.Н.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Оношко Д.Е. – ст. преподаватель

Выполнен сравнительный анализ алгоритмов обнаружения коллизий между объектами и их практическая реализация на примере простой трёхмерной игры. Проведены замеры производительности, подтверждающие эффективность выбранных методов.

В современных трёхмерных играх, где динамика и интерактивность являются основой игрового процесса, корректная обработка коллизий выступает не только гарантом реалистичности, но и критически важным фактором для обеспечения стабильной производительности. Алгоритмы обнаружения и разрешения столкновений напрямую влияют на вычислительную нагрузку, потребление ресурсов и, как следствие, на частоту кадров (FPS), задержку ввода (input lag) и другие показатели производительности. Неоптимизированные методы обработки коллизий способны стать «бутылочным горлышком» даже для мощного аппаратного обеспечения, особенно в сценах с высокой плотностью объектов, сложной геометрией или динамически меняющейся средой. Это делает выбор и реализацию эффективных алгоритмов ключевой задачей. Целью данной работы являлась минимизация количества необходимых вычислительных ресурсов для эффективного обнаружения и обработки коллизий объектов при разработке 3D-игры в жанре танкового шутера.

Среди основных групп алгоритмов обнаружения коллизий можно выделить следующие: алгоритмы разделения осей, алгоритмы иерархий ограничивающих объёмов и алгоритмы сеток разбиения пространства. Алгоритм разделения осей (SAT) является одним из наиболее распространённых. Он демонстрирует высокую точность обнаружения коллизий, включая поддержку сложных геометрических форм, однако требует оптимизации для сцен с большим количеством объектов из-за снижения производительности. Алгоритм иерархий ограничивающих объемов (BVH) показывает большую производительность, однако значительно меньшую точность по сравнению с SAT. Алгоритм сеток разбиения пространства используется в ситуациях, когда требуется обработать коллизии для больших сцен, однако имеет низкую точность для объектов, имеющих сложную геометрическую форму [1].

Важным аспектом реализации данной работы стал выбор типа ограничивающего объема. Выбор OBB (Oriented Bounding Box) вместо AABB (Axis-Aligned Bounding Box) обусловлен необходимостью точного учёта ориентации моделей. AABB, выровненные по глобальным осям, быстро вычисляются, но при вращении объектов (например, башни танка) их габариты «раздуваются», вызывая ложные коллизии.

Несмотря на сравнительно небольшое количество объектов, сами объекты имели сложную геометрическую форму. В связи с этим среди всех алгоритмов был выбран SAT. Его возможные проблемы с производительностью компенсируются небольшим количеством объектов и выполненными оптимизациями.

Работа алгоритма SAT основывается на следующем математическом утверждении: объекты A и B не пересекаются, если существует ось v, на которой их проекции $[a_{min}, a_{max}]$ и $[b_{min}, b_{max}]$ не перекрываются, где a_{min}, b_{min} – минимальные координаты проекций вершин объектов A и B на ось, a_{max} , b_{max} – максимальные координаты проекций вершин объектов A и B на ось [2]. Алгоритм проецирует объекты на потенциальные разделяющие оси. Для 3D-объектов (в частности, OBB) проверяются 15 осей: локальные оси объектов и векторные произведения их рёбер. На каждой оси вычисляются проекции вершин объектов (минимальные и максимальные значения). Если на любой оси проекции не перекрываются, объекты не пересекаются. Если перекрытие есть – коллизия обнаружена.

Для данного алгоритма была определена следующая оптимизация: изначально проводится грубая проверка на пересечение AABB, если пересечение отсутствует, можно сделать вывод, что коллизия отсутствует, иначе проводится более точная проверка на основании пересечения OBB. Преимуществом данного подхода является более высокая скорость проверки на пересечение для более простого ограничивающего объема. Данная оптимизация помогает отсечь большое количество потенциальных пар объектов.

Еще одной оптимизацией является ранний выход: если обнаружена первая разделяющая ось, на которой проекции объектов не пересекаются, алгоритм немедленно останавливается, и остальные оси не проверяются.

Для реализации стрельбы был выбран метод HitScan. Метод HitScan (или Hit-Scan) – это техника, используемая в играх и симуляциях для определения попадания снаряда или луча в цель. Луч

начинается в точке происхождения (обычно ствол оружия) и направляется вдоль вектора, определённого направлением выстрела [3].

В отличие от симуляции физически точной траектории снаряда (например, с учетом гравитации и сопротивления воздуха), HitScan мгновенно проверяет, пересекает ли луч (линия) цель в момент выстрела. Этот метод широко используется в шутерах от первого лица (FPS) и других играх, где важна быстрота и простота расчетов. Данный метод был выбран по причине его высокой производительности, точности и предсказуемости. Увидеть принцип действия данного метода можно на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема работы метода HitScan

Hitscan основан на геометрической трассировке луча, задаваемого параметрическим уравнением:

$$R = O + t \cdot D,\ t \in [0,\infty) \quad (1)$$

где O – точка выстрела, D – нормализованный вектор направления.

Для определения коллизии луч проверяется на пересечение с ограничивающими объемами объектов. При этом из всех пересечений выбирается ближайшая точка (с наименьшим значением параметра t) чтобы определить первый объект, пораженный выстрелом.

В данном случае также была проведена оптимизация вычислений за счет изначальной грубой проверки на пересечение с AABB и раннего выхода в случае обнаружения оси, по которой оно отсутствует. Помимо этого, была определена еще одна оптимизация, связанная с возможностью локализации сцены: деления пространства на подпространства определенных размеров с целью проверки только ближайших объектов. Дополнительной оптимизацией стало ограничение дистанции выстрела, исключающее проверку коллизий с удалёнными объектами.

На основании практической реализации алгоритмов обнаружения коллизий на тестовом оборудовании с применением оптимизаций и без них были получены следующие результаты:

– Для сцены с 30 объектами. Без оптимизаций средний FPS составил 70–75. При включении оптимизаций данный показатель вырос до 73-79. Различия в производительности оказались незначимыми (4%), что связано с малой вычислительной нагрузкой при небольшом числе объектов.

– Для сцены с 200 объектами. Без оптимизаций средний FPS снижался до 54-55. С оптимизациями FPS стабилизировался на уровне 65-68. Это соответствует приросту производительности на 22%.

Практическая реализация алгоритмов SAT и HitScan в рамках трёхмерной игры с динамическими объектами сложной геометрии (танки) подтвердила их эффективность в условиях ограниченных вычислительных ресурсов. Внедрение SAT с двухэтапной проверкой (AABB → OBB) и ранним выходом позволило достичь высокой точности обнаружения коллизий при сокращении времени расчётов. Это особенно важно для объектов с нестандартной формой, где традиционные методы (например, BVH) демонстрируют значительные погрешности.

HitScan, оптимизированный за счёт локализации сцены и ограничения дальности, обеспечил мгновенную проверку попаданий без просадок FPS, что критично для шутеров с высокой интенсивностью стрельбы. Однако метод требует дополнительной доработки для учёта баллистических эффектов (гравитация, отскоки), что ограничивает его применение в симуляторах.

Реализация подтвердила, что даже при ограниченных вычислительных ресурсах данные методы обеспечивают баланс между точностью и производительностью, что делает их применимыми в широком спектре игр – от тактических шутеров до симуляторов техники.

Список использованных источников:

1. Ericson C. Real-Time Collision Detection. Morgan Kaufmann, 2005.
2. Bourg M.D., Bywalec B. – Physics for Game Developers.
3. Collision Detection in Interactive 3D Environments / Gino van den Bergen

СЖАТИЕ ВИБРОСИГНАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Вергель И.В., Климчук А.И.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Леванцевич В.А. – ст. преподаватель

В работе исследуются методы сжатия вибрационных сигналов с применением нейросетевого автоэнкодера. Проведено сравнение с классическими алгоритмами zlib и lzma, показано преимущество ИИ-подхода при обработке компонентов сигнала. Рассмотрена модель разложения сигнала на периодическую и шумоподобную составляющие. Результаты демонстрируют потенциал методов сжатия на основе искусственного интеллекта.

Вибрационные сигналы, или вибросигналы широко применяются в технической диагностике оборудования, позволяя контролировать состояние механизмов без остановки производственного процесса. С помощью анализа вибросигналов можно выявить такие дефекты, как дисбаланс, износ подшипников, ослабление креплений, резонансные явления и другие неисправности на ранней стадии. Это особенно важно для таких отраслей, как промышленность, энергетика, авиация, железнодорожный транспорт и строительство. Регулярный мониторинг вибросигналов позволяет значительно повысить надёжность эксплуатации оборудования, оптимизировать графики технического обслуживания и снизить издержки [1].

С развитием технологий интернета вещей и внедрением большого числа сенсоров в производственные системы резко возрос объём собираемой информации. В этих условиях становится всё более актуальной задача распределённой обработки вибросигналов. Современные вычислительные архитектуры предполагают, что первичная обработка выполняется непосредственно на устройствах, установленных на объекте. Такие устройства могут выявлять ключевые характеристики сигнала и передавать уже агрегированные или сжатые данные в облачные хранилища. Облачные технологии, в свою очередь, предоставляют инфраструктуру для хранения, масштабируемой обработки и интеллектуального анализа данных, позволяя специалистам в удалённом режиме получать диагностическую информацию, строить прогнозы о техническом состоянии объектов [2].

Однако, передача больших объёмов вибрационных данных в облачные хранилища сопряжена с рядом проблем, включая ограниченную пропускную способность каналов связи и стоимость хранения. Поэтому эффективное сжатие данных становится важным этапом всей системы. Основной задачей сжатия является уменьшение объёма информации при сохранении диагностически значимых характеристик сигнала. В классических подходах сжатие реализуется либо без потерь, когда исходный сигнал может быть точно восстановлен, либо с потерями, где допускается удаление избыточной или слабозначимой информации.

Особый интерес представляет подход к сжатию, основанный на разложении вибросигнала на периодическую и шумоподобную составляющие [3]. Этот метод удобен для цифровой обработки, поскольку позволяет разделить сигнал на регулярную компоненту, обусловленную вращением или повторяющимися событиями в механизме, и нерегулярную, описывающую случайные или трудно предсказуемые воздействия. В общем виде вибрационный сигнал можно представить как сумму двух составляющих:

$$x(nt_d) = p(nt_d) + s(nt_d) \quad (1)$$

где $p(nt_d)$ – периодическая составляющая вибрационного сигнала,

$s(nt_d)$ – шумоподобная составляющая вибрационного сигнала

t_d – интервал дискретизации.

Периодическая часть может быть представлена как сумма гармоник, каждая из которых характеризуется своей амплитудой, частотой и фазой. Такое разложение описывается выражением:

$$x(nt_d) = \sum_{m=1}^{L} A_m cos(2\pi k_m f_o n t_d - \varphi_m) + s(nt_d) \quad (2)$$

где f_o– частота вращения ротора или вала привода (оборотная частота),

k_m – кратность *m*–ой гармоники, включенной в периодическую составляющую, относительно f_o,

A_m – амплитуда *m*–ой гармоники,

φ_m– начальная фаза *m*–ой гармоники,

L– число гармоник, выбранных для периодической составляющей вибросигнала.

Благодаря выделению периодической составляющей можно эффективно описывать сигнал небольшим числом параметров, что существенно снижает объём передаваемой информации. Значения шумоподобной составляющей, могут быть представлены в целочисленном виде уменьшенной разрядности.

В последние годы активно развиваются методы сжатия с использованием искусственного интеллекта. Одним из таких подходов является использование нейросетевых автоэнкодеров, которые обучаются на множестве сигналов и позволяют создавать компактное представление входных данных с возможностью их восстановления.

Обучение нейросетевой модели для сжатия происходит на основе набора типичных вибрационных сигналов, которые используются для обучения автоэнкодера в режиме реконструкции. Модель учится кодировать сигнал в компактное пространство признаков (латентное пространство), а затем восстанавливать сигнал из этого представления. Количество признаков (размер латентного пространства) напрямую влияет на степень сжатия: меньше признаков – выше степень сжатия, но потенциально хуже качество восстановления. Увеличение числа признаков повышает точность восстановления, но увеличивает объём выходного файла. Поэтому важно найти баланс между степенью сжатия и приемлемой точностью восстановления.

Качество восстановления оценивается через метрику ошибки, например среднеквадратичную ошибку между исходным и восстановленным сигналами. Ошибку можно уменьшить за счёт:

– более глубоких и сложных архитектур автоэнкодера;

– предварительной нормализации и фильтрации сигналов;

– увеличения числа обучающих данных;

– адаптации модели под конкретные типы вибраций и оборудования.

Для оценки эффективности различных алгоритмов сжатия было разработано программное средство реализующие автоэнкодер, который работает в режиме уменьшения ошибки реконструкции (менее 1%). При обучении автоэнкодера для расширения набора данных было использовано сто сгенерированных файлов сигналов, каждый из которых дополнительно представлен в виде переодическикой и шумоподобной составляющих. В результате было получено триста наборов данных сигналов.

Был проведён эксперимент, включающий сравнение трёх подходов: классические алгоритмы zlib и lzma, а также с помощью автоэкодера.

LZMA – алгоритм основанный на схеме сжатия данных по словарю дополненный интервальным кодированием, который кодирует все символы сообщения в одно число.

Zlib – алгоритм сжатия без потерь, использует комбинацию алгоритмов LZ77 и Хаффмана. LZ77 работает согласно принципу скользящего окна, учитывает уже ранее встречавшуюся информацию, то есть информацию, которая уже известна для кодировщика и декодировщика (второе и последующие вхождения некоторой строки символов в сообщении заменяются ссылками на её первое вхождение). Алгоритм Хаффмана позволяет по вероятности появления символов в сообщении, описать процедуру построения кодов переменной длины, состоящих из целого количества бит. Символам с большей вероятностью ставятся в соответствие более короткие коды.

В таблице 1 отражена степень сжатия (отношение размера исходного файла к сжатому) для различных типов сигналов.

Таблица 1 – Степень сжатия различных типов сигналов

Тип сигнала	ИИ	zlib	LZMA
Исходный	15.44	1.09	1.12
Периодический	15.36	2.85	10.48
Шумоподобный	15.36	1.08	1.10

Из таблицы видно, что нейросетевая модель обеспечивает более высокую степень сжатия по сравнению с классическими методами и может быть использована для сжатия вибросигналов.

Список использованных источников:

1. Бранцевич, П. Ю. Оценка технического состояния механизмовс вращательным движением на основе анализа вибрационных характеристик пусков и выбегов / П. Ю. Бранцевич. – Минск : Четыре четверти, 2021. – 236 с.

2. М.А Шарапов., А.В. Левенец // Информационные Технологии XXI Века. 2023. с 71-74. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_53737268_90436074.pdf. Дата доступа: 30.03.2025.

3. Бранцевич, П. Ю. Анализ вибрационных сигналов методом разложения на периодическую и шумоподобную составлющие / П. Ю. Бранцевич // Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов: сб. ст. 9-й Междунар. науч.-техн. конф. / Научный совет Межд. ассоциации академий наук по неразрушающему контролю и техн. диагностике: М. Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2024. – С. 56-62.

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО ПРОСМОТРА И АНАЛИЗА КОМПЬЮТЕРНЫХ ТОМОГРАММ DICOM

Иваненко Д.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Деменковец Д.В. – ст. преподаватель

В тезисе рассматривается программное средства для просмотра и анализа медицинских изображений, основанных на стандарте DICOM, который объединяет изображение и сопровождающие его метаданные. Особое внимание уделено анализу компьютерной томографии как ключевого диагностического метода в современной клинической практике. Описываются функциональные возможности приложения. Подчёркивается важность использования формата DICOM для обеспечения точности и надёжности медицинской информации, а также определяются перспективы дальнейшего расширения функционала.

– Компьютерная томография (КТ) стала одним из ключевых инструментов диагностики, кардинально изменив подходы к выявлению и лечению заболеваний. Её главное преимущество – высокая точность визуализации, позволяющая получать детальные трёхмерные изображения внутренних органов, костей, сосудов и мягких тканей. Это особенно важно для ранней диагностики таких патологий, как злокачественные опухоли, инсульты, инфаркты или сложные переломы. Например, в онкологии КТ помогает обнаружить новообразования размером в несколько миллиметров, что значительно повышает шансы на успешное лечение.

– В экстренной медицине КТ незаменима: при травмах, внутренних кровотечениях или острых состояниях (например, тромбоэмболии) томограф за считанные минуты предоставляет информацию, на основе которой врачи принимают жизненно важные решения.

КТ также способствует развитию персонализированной медицины. Снимки помогают подбирать терапию с учётом анатомических особенностей человека, например, точно рассчитывать дозу облучения при радиотерапии или выбирать оптимальный доступ для биопсии. Кроме того, технология активно используется для мониторинга лечения – оценки динамики опухолей, контроля восстановления после операций или эффективности лекарственной терапии [1].

В качестве формата хранения и передачи медицинских изображений был выбран стандарт DICOM (англ. Digital Imaging and Communications in Medicine), разработанный совместно Американским колледжем радиологии (ACR) и Национальной ассоциации производителей электрооборудования (NEMA) [2,3]. Этот стандарт стал фундаментом современной медицинской визуализации, поскольку позволяет объединять в одном файле как изображение, так и обширный набор метаданных, включающих сведения о пациенте, параметрах исследования и характеристиках используемого оборудования [4].

Особое внимание в стандарте уделяется уникальным идентификаторам и структурированной информации, что обеспечивает однозначную интерпретацию данных и превращает каждый файл в полноценный медицинский документ. DICOM-файл содержит служебные данные, необходимые для корректной передачи и обработки, а также основной набор атрибутов, таких как идентификаторы объекта, описание исследования и информация об изображении [5,6]. Это значительно упрощает работу специалистов, позволяя эффективно организовывать, архивировать и анализировать медицинские данные. Структура файла DICOM представлена на рисунке 1.

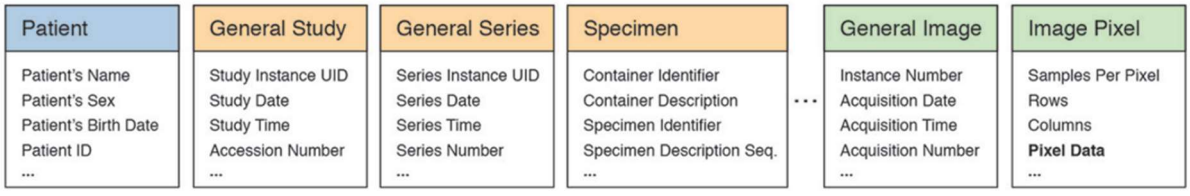


Рисунок 1 – Структура файла формата dicom (.dcm)

Основной язык для разработки программного средства – C#. Целевая платформа – Windows. Для работы с DICOM-данными используется библиотека fo-dicom, обеспечивающая эффективную загрузку, обработку и визуализацию медицинских изображений [7]. Алгоритмы обработки данных файла DICOM реализованы в рамках платформы .NET.

Программное средство предоставляет следующий набор функциональных возможностей:

– загрузка файлов формата dicom;
– просмотр срезов и серий медицинских изображений;
– отображение подробной информации о текущем срезе;
– построение измерительных прямых с возможностью уточнения координат;
– перемещение изображения в пределах области просмотра;
– масштабирование изображения с поддержкой плавного увеличения и уменьшения;
– построение перпендикуляров к ранее заданным прямым;
– измерение углов между анатомическими структурами;
– построение эллипсов для оценки анатомических областей;
– анализ отклонений от заданной оси;
– поиск центра вращения сферических суставных концов;
– выбор различных способов отображения пользовательских построений;
– построение трёхмерных измерительных прямых;
– отображение трёхмерных измерительных прямых на топограммах;
– отображение списка трёхмерных измерительных прямых и управление ими;
– построение проекций прямых, заданных на топограммах, на соответствующие срезы исследования.

Примеры работы программного средства изображён на рисунке 2.

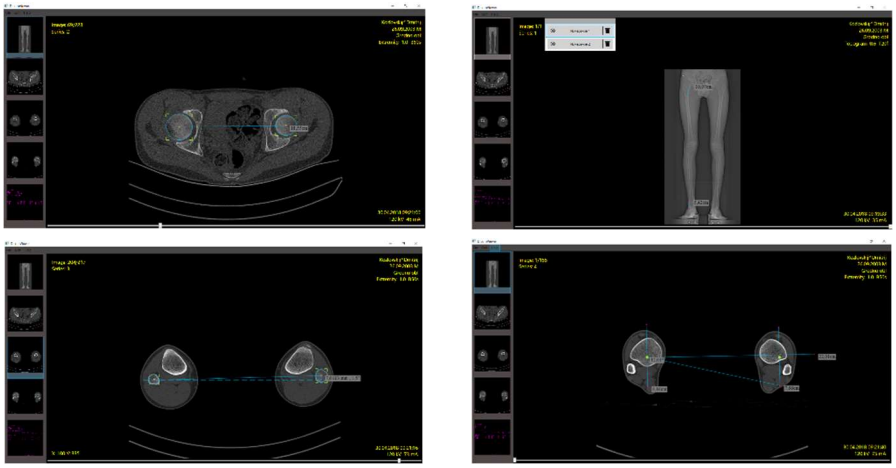


Рисунок 2 – Примеры работы программного средства

В результате разработки был спроектирован прототип программного средства для анализа и просмотра компьютерных томограмм в формате DICOM. Прототип продемонстрировал возможности эффективной обработки структурированных медицинских данных, обеспечивая высокое качество визуализации и анализа КТ-снимков. Перспективы развития проекта включают расширение функционала, интеграцию с другими медицинскими информационными системами, а также внедрение новых инструментов, направленных на повышение эффективности диагностики и оптимизацию рабочих процессов в клинической практике.

Список использованных источников:

1. Neptunediagnostics [Электронный ресурс]. – Режим доступа :
2. https://neptunediagnostics.in/role-of-computerized-tomography/. – Дата доступа: 16.02.2025
3. Graham R. N. J., Perriss R. W., Scarsbrook A. F. DICOM demystified: a review of digital file formats and their use in radiological practice //Clinical radiology. – 2005. – Т. 60. – №. 11. – С. 1133-1140.
4. NEMA [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.dicomstandard.org. – Дата доступа: 10.03.2025
5. Larobina M. Thirty years of the DICOM standard //Tomography. – 2023. – Т. 9. – №. 5. – С. 1829-1838.
6. DCMTK [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://dcmtk.org/en/general/dicom-introduction/. – Дата доступа: 10.03.2025
7. Herrmann M. D. et al. Implementing the DICOM standard for digital pathology //Journal of pathology informatics. – 2018. – Т. 9. – №. 1. – С. 37.
8. fo-dicom [Электронный ресурс]. – Режим доступа https://github.com/fo-dicom/fo-dicom. – Дата доступа: 10.03.2025

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ НАУЧНЫХ КОЛЛЕКТИВОВ

Негбоев А.Н.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Шульдова С.Г. – канд. техн. наук, доцент

Данное исследование посвящено анализу метода интеллектуального анализа данных публикационной активности научных коллективов. Предложен комплексный подход, объединяющий кластеризацию, семантический анализ текстов и технологии оперативного анализа данных (OLAP) для оценки продуктивности сотрудников и выявления тематической направленности исследований. Практическая реализация выполнена на основе данных сотрудников научного коллектива за период 2013–2021 годов. Результаты анализа демонстрируют динамику роста числа публикаций, структуру цитируемости и ключевые направления научной деятельности. Показано, что интеграция методов повышает точность оценки и выявляет скрытые закономерности, что ценно для управления научными коллективами.

Современная наука характеризуется экспоненциальным ростом объема публикаций и связанной с ними информации, что делает традиционные методы анализа публикационной активности недостаточными для получения глубоких инсайтов. Подсчет числа публикаций, расчет индекса Хирша или анализ цитируемости [1], хотя и остаются важными инструментами, не позволяют в полной мере оценить качественные аспекты научной деятельности, такие как тематическая релевантность, междисциплинарные связи или влияние на развитие дисциплин. Публикационная активность является ключевым индикатором научной продуктивности, отражающим как индивидуальный вклад исследователей, так и эффективность работы коллективов [2]. Однако в условиях глобальной конкуренции и роста требований к наукометрическим показателям возникает необходимость в более сложных подходах, которые выходят за рамки простого измерения количественных метрик. Интеллектуальный анализ данных, включающий методы машинного обучения, семантический анализ и многомерное моделирование, позволяет не только описать текущую ситуацию, но и прогнозировать тенденции, а также поддерживать стратегическое планирование научной деятельности.

Целью данной работы является разработка и апробация методов интеллектуального анализа публикационной активности научного коллектива. В качестве объекта исследования выбраны данные о публикациях сотрудников за период 2013–2021 годов, что позволяет проследить динамику и выявить ключевые направления исследований.

Для анализа публикационной активности предложен комплексный подход, объединяющий три основных метода: оперативный анализ данных с использованием OLAP-куба, кластеризацию методом k-средних и семантический анализ текстов. Каждый из методов решает свою задачу, дополняя общую картину.

Технологии оперативного анализа данных (Online Analytical Processing, OLAP) применены для изучения временной динамики и структуры публикационного потока. Разработан многомерный OLAP-куб, реализованный с использованием СУБД Microsoft SQL Server и службы MS SQL Server Analysis Services (SSAS). Куб включает группы мер (количество публикаций, цитируемость, число соавторов) и измерения (издатель, автор, публикация, год). Связь «многие-ко-многим» между авторами и публикациями трансформирована в гиперкуб, где таблица фактов содержит количественные показатели, а таблицы измерений описывают атрибуты, такие как тип публикации и ученая степень автора. Процесс извлечения, очистки и загрузки данных (ETL) организован для обработки данных из открытых источников, включая устранение дубликатов и заполнение пропусков.

Для группировки сотрудников по уровню публикационной активности и тематической направленности использован алгоритм k-средних, который минимизирует внутригрупповую дисперсию. Пусть $X = \{x_1, x_2,.., x_n\}$ – набор данных, где$x_i = (P_i, C_i)$ – вектор, включающий число публикаций P_i и цитирований C_i сотрудника (i). Целевая функция минимизации задается как:

$$\mathrm{J} = \sum_{j=1}^{k} \sum_{x_i \in s_j} \left\| x_j - \mu_j \right\|^2 , \quad (1)$$

где μ_j – центроид (j)-го кластера, s_j– множество объектов в кластере, (k) – число кластеров (в данном случае k = 3).

Евклидово расстояние между объектами рассчитывается как:

$$d(x, \mu_i) = \sqrt{\sum_{j=1}^{m} (x_i - \mu_{ij})^2} , \quad (2)$$

где (m) – размерность вектора признаков.

Алгоритм реализован с использованием библиотеки scikit-learn на языке Python, что обеспечило высокую вычислительную эффективность.

Для выявления тематической направленности применен контент-анализ, основанный на частотности употребления ключевых слов и их совместной встречаемости. Процесс включал этапы: извлечение текстов из публикаций, очистку данных (удаление стоп-слов, нормализация), подсчет частоты слов и кластеризацию ключевых слов методом k-средних. Анализ проводился на корпусе из 150 публикаций, доступных в открытом доступе.

Практическая реализация предложенного подхода выполнена на данных о публикациях сотрудников научного коллектива за период 2013–2021 годов. Общий объем обработанных записей составил более 600 публикаций, включая статьи, монографии и тезисы конференций. Результаты анализа можно разделить на три ключевые группы.

OLAP-анализ выявил устойчивый рост числа публикаций на 30% за указанный период, с пиком в 2017–2018 годах (среднегодовой прирост – около 4%). Этот всплеск может быть связан с профессиональными достижениями сотрудников, такими как присвоение ученых званий или участие в крупных проектах. Структура потока показала преобладание журнальных статей (60%) над тезисами конференций (25%) и монографиями (15%).

Средняя цитируемость на публикацию составила 12 ссылок, а средний индекс Хирша сотрудников – 4, с максимальным значением 8 у лидеров коллектива. Кластеризация методом k-средних выделила три группы сотрудников: «высокоактивные» (свыше 20 публикаций и 100 цитирований), «средние» (10–20 публикаций) и «низко активные» (менее 10 публикаций). Доля высоко цитируемых работ (HCR) составила 15%, что указывает на наличие значимых исследований.

Семантический анализ определил три основных направления исследований:

1) численные методы и оптимизация (40% текстов, ключевые слова: «алгоритм», «оптимизация»);

2) машинное обучение и анализ данных (30%, ключевые слова: «моделирование», «нейросети»);

3) разработка программного обеспечения (20%, ключевые слова: «программирование», «системы»).

Временной анализ показал рост интереса к машинному обучению после 2018 года (увеличение числа публикаций на 25%), что соответствует глобальным трендам. Однако междисциплинарные темы составили менее 10% корпуса, что указывает на узкую специализацию коллектива. Анализ выявил сильные стороны коллектива: стабильный рост продуктивности и активное внутреннее сотрудничество (кластеры соавторства охватывают 70% сотрудников). Среди слабостей – низкая внешняя цитируемость (менее 20% ссылок от авторов вне коллектива) и ограниченный доступ к полным текстам (50% публикаций), что снизило точность семантического анализа.

Интеграция методов интеллектуального анализа данных доказала свою эффективность в оценке публикационной активности научного коллектива. OLAP-куб обеспечил гибкость анализа структуры потока, кластеризация выявила группы сотрудников по уровню продуктивности, а семантический анализ определил приоритетные направления исследований. Полученные результаты имеют прикладное значение: они могут быть использованы для оптимизации публикационной стратегии, повышения видимости работ в международном сообществе и диверсификации тематики исследований. Однако подход имеет ограничения, связанные с качеством и полнотой исходных данных. Например, отсутствие доступа к полным текстам части публикаций повлияло на точность тематического анализа. Для повышения эффективности требуется дальнейшая автоматизация процессов сбора и обработки данных, а также интеграция дополнительных источников, таких как Scopus или Web of Science [3]. Перспективы исследования включают разработку прогнозных моделей на основе временных рядов и расширение анализа на междисциплинарные связи, что может усилить вклад коллектива в мировую науку.

Список использованных источников:

1. Хирш Х.Э. Индекс для измерения научной продуктивности // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2005. № 102(46). P. 16569–16572.

2. Тронин В.Г. Оценка результатов научно-исследовательской работы и наукометрия : учебное пособие / В.Г. Тронин, А.Р. Сафиуллин. – Ульяновск : УлГТУ, 2019. – 136 с.

3. Симоненко Т.В. Наукометрия: методология, инструменты, практическое применение : монография / Т.В. Симоненко.–Минск:Беларускаянавука,2018. – 343с.

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИ НЕКЛОНИРУЕМЫХ ФУНКЦИЙ

Малявко Н.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Иванюк А.А. – доктор техн. наук, профессор

Улучшена существующая параметрическая модель [1] физически неклонируемой функции типа кольцевой осциллятор путём добавления параметров для моделирования физически неклонируемых функций на технологии программируемых логических интегральных схем. Проведён анализ и сравнение собранных экпериментальных данных с параметрической моделью.

Физически неклонируемая функция (ФНФ) является структурой, позволяющей отображать множество запросов *CH* во множество ответов *R* уникальным и невоспроизводимым образом *CH→R*. В основном ФНФ применяется для генерация случайных чисел и идентификации полупроводниковых устройств. ФНФ представляет собой цифровую схему, создание которой с заранее известными характеристиками практически невозможно. Существует множество схем цифровых ФНФ, большинство из которых основаны на уникальности задержек распространения сигналов. К таким схемам относятся ФНФ типа арбитр [2] и кольцевой осциллятор (КО) [3].

Симметрия является определяющим фактором работоспособности схем ФНФ. Если симметрию можно достичь при проектировании и изготовлении специализированных интегральных схем, то для программируемых логических интегральных схем это практически невозможно. Два пути являются симметричными, если задержка распространения сигнала по одному пути равна задержке распространения сигнала по второму пути. Можно выделить следующие виды симметрии путей: структурную, топологическую и физическую. Структурную симметрию путей можно достичь на стадии проектирования цифрового устройства путём расположения одинаковых функциональных элементов. Топологическая симметрия может быть обеспечена идентичным расположением копий элементов двух путей и их межсоединений. Наибольшая физическая симметрия может быть обеспечена при изготовлении полупроводникового кристалла. При этом физическая симметрия бывает двух типов: внутрикристальная и межкристальная. Если идеальную проектную и топологическую симметрию можно обеспечить на практике, то идеальная физическая симметрия недостижима по многим причинам. В первую очередь связанным с девиациями материалов и технологических операций при изготовлении полупроводниковых кристаллов. Это выражается в разности задержек распространения сигналов по симметричным путям, а возможность измерения и сравнения такой разности лежит в основе построения цифровых ФНФ.

В расширенной программной модели ФНФ КО задержка сигнала определяется как:

$$\Delta = \delta_b + \delta_t + \delta_d, \tag{1}$$

где δ_b – задержка распространения сигнала через кольцевой осциллятор; δ_t – задержка распространения сигнала через межсоединения; δ_d – зависящая от условий эксплуатации случайная задержка, которая различна при каждом измерении. Схема вычисления пары *CH→R* представлена на рисунке 1.

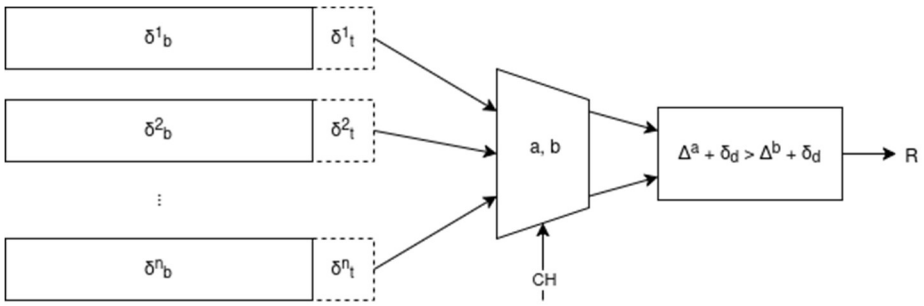
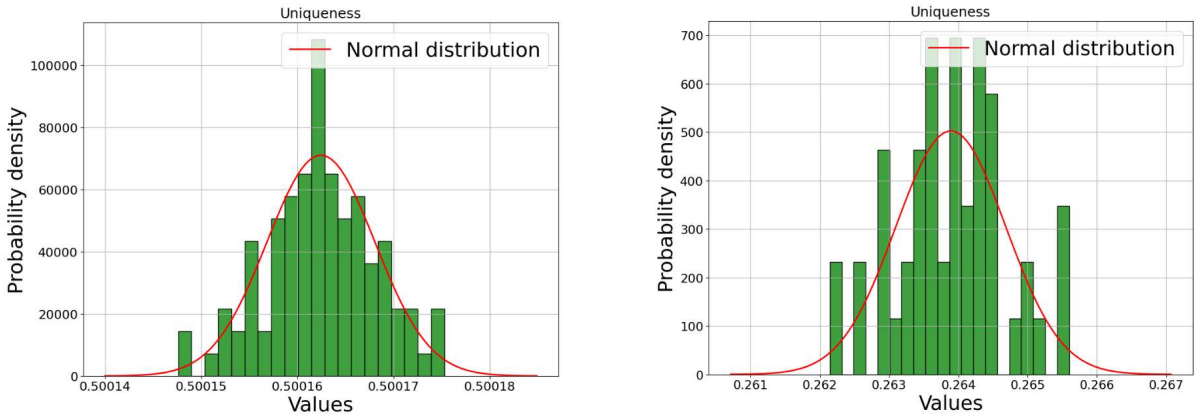


Рисунок 1 – Модель ФНФ типа КО, реализованная программно. Обозначения для задержек взяты из формулы (1). Δ^a и Δ^b – задержки под индексом a, b.

Был проанализирован собранный для работы [4] набор данных с кластера ПЛИС. Кластер состоял из четырех Xilinx ZYNQ 7000. На каждой ПЛИС было размещено четыре ФНФ КО с фиксированным размещением. Фиксированное размещение означает, что на этапе задания проектного

описания указывалось конкретное размещение LUT-блоков, а межсоединения закреплялись путем описания их подключений к конкретным физическим входам. Размещение одной схемы дублировалось на идентичных смежных блоках ПЛИС для обеспечения максимального подобия четырёх экземпляров ФНФ КО.

Набор данных представлял частоты для каждого КО в структуре ФНФ. Для определения корректности параметрической модели выделим такие метрики как, единообразие, стабильность, надёжность и уникальность. Объяснения физического смысла метрик и формулы их расчёта показаны в работе [5]. Особое внимание уделим метрикам внутрикристальной уникальности и единообразия. Для сравнения программной модели с экспериментом возьмём результаты из таблицы 4 в работе [4]. Исходя из таблицы, значение метрики внутрикристальной уникальности лежит в диапазоне [0,34; 0.48] для стратегии автоматического размещения и [0,07; 0,12] для стратегии фиксированного размещения. Модель показала центры распределения метрики внутрикристальной уникальности в точках 0,500 для моделирования автоматического размещения ФНФ на ПЛИС и 0,264 *для моделирования фиксированного размещения ФНФ на ПЛИС, что эквивалентно моделированию размещения ФНФ на интегральной схеме специального назначения.* Распределения метрик внутрикристальной уникальности при моделировании представлены на рисунке 2. Центр распределения метрик единообразия при моделировании попал в диапазон [0,985; 0,995], что согласуется с результатами из таблицы 3 в работе [4].



а) б)

Рисунок 2 – распределение метрики внутрикристальной уникальности для моделирования ФНФ КО на ПЛИС (а). Распределение метрики внутрикристальной уникальности для моделирования ФНФ КО на специализированной интегральной схеме (б).

Можно сделать вывод, что определяющим результат моделирования фактором является сотношение величин задержек. Например, задержки δ_b и δ_t для двух КО будут близки, значит определяющим результат будет значение δ_d, которое принимает случайное значение при каждом измерении. В таком случае ФНФ хорошо применима для задачи генерации случайных чисел. В ином случае, где задержка δ_b или δ_t много больше остальных, ФНФ решает задачу идентификации, ведь тогда появляются стабильные пары *CH→R*. Результаты, полученные при параметрическом моделировании ФНФ КО похожи по природе с экспериментальными данными. Из этого можно сделать вывод о состоятельности программной модели и применимости её для моделирования ФНФ типа КО.

Список использованных источников:

1. Малявко Н.В., Иванюк А.А. Алгоритмы параметрического моделирования физически неклонируемых функций. Информационные технологии и системы 2024, 91-92. https://its.bsuir.by/m/12_130111_1_190875.pdf

2. S. Hemavathy and V. S. K. Bhaaskaran, "Arbiter PUF—A Review of Design, Composition, and Security Aspects," in IEEE Access, vol. 11, pp. 33979-34004, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3264016.

3. G. Edward Suh and Srinivas Devadas. 2007. Physical unclonable functions for device authentication and secret key generation. In Proceedings of the 44th annual Design Automation Conference (DAC '07). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 9–14. https://doi.org/10.1145/1278480.1278484

4. Иванюк А.А. Исследование физически неклонируемой функции конфигурируемого кольцевого осциллятора. Информатика. 2025;22(1):73-89. https://doi.org/10.37661/1816-0301-2025-22-1-73-89

5. Martin H, Peris-Lopez P, Natale GD, Taouil M, Hamdioui S. Enhancing PUF Based Challenge–Response Sets by Exploiting Various Background Noise Configurations. Electronics. 2019; 8(2):145. https://doi.org/10.3390/electronics8020145

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ВИЗУАЛИЗАЦИИ И СРАВНЕНИЯ АЛГОРИТМОВ И СТРУКТУР ДАННЫХ

Куликов С.С., Матюшенко В. А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Куликов С.С. – канд. техн. наук, доцент

В современном мире алгоритмы и структуры данных играют ключевую роль в разработке программного обеспечения, однако их изучение и сравнение могут быть затруднены из-за сложности восприятия. Поэтому была поставлена цель разработки веб-приложения, которое позволит визуализировать работу различных алгоритмов и структур данных, а также сравнивать их по различным критериям. Разработка направлена на упрощение обучения и анализа алгоритмов, что делает ее полезной как для студентов и преподавателей, так и для профессиональных разработчиков.

Основной задачей веб-приложения является помощь пользователям в изучении, анализе и сравнении алгоритмов и структур данных с использованием интерактивной визуализации. В настоящее время существует множество подходов к анализу алгоритмов и структур данных, среди которых можно выделить:

1) оценку временной и пространственной сложности алгоритмов;
2) визуализацию процессов выполнения алгоритмов;
3) тестирование производительности на различных входных данных;
4) сравнение алгоритмов по эффективности в разных сценариях.

Существует множество платформ и инструментов, каждый из которых предоставляет свои уникальные возможности для изучения алгоритмов. Однако доступные инструменты имеют ряд ограничений:

– большинство платформ ориентированы только на отдельные классы алгоритмов (например, сортировка или работа с графами);

– доступные симуляторы не всегда предоставляют возможность гибкой настройки входных данных;

– отсутствует удобный инструмент для сравнительного анализа алгоритмов и структур данных.

На основе анализа аналогов и требований к проектируемой системе было определено, что разрабатываемое веб-приложение должно включать:

1) поддержку визуализации различных классов алгоритмов (сортировки, поиска, работы с графами и деревьями);
2) возможность настройки входных данных и параметров выполнения;
3) систему тестирования производительности алгоритмов по ключевым метрикам (время выполнения, использование памяти);
4) отображение примеров кода для всех алгоритмов и структур данных.

Веб-приложение использует архитектуру «клиент-сервер». Для доступа к веб-приложению пользователю необходим только веб-браузер. Для визуализации алгоритмов и структур данных используется JavaScript и технология AJAX. Благодаря этому, пользователь может наблюдать за изменениями в процессе визуализации без перезагрузки страницы, а также видеть пошаговую анимацию работы алгоритмов. Дополнительно у пользователя есть возможность настраивать входные данные для алгоритмов и структур данных, что позволяет пользователям тестировать их поведение на различных примерах. Для получения примерных значений метрик будет происходить выполнение данного кода на стороне сервера. Тем самым, веб-браузер пользователя не будет нагружаться и прерывать отображение. Так как у пользователей данного веб-приложения есть возможность регистрироваться и авторизовываться, одним из важных требований является обеспечение сохранности данных пользователей. Для этого применяются следующие механизмы: хеширование паролей, защита от SQL-инъекций, CSRF-защита, использование HTTPS [1]. Используя современные паттерны проектирования, код веб-приложения был структурирован таким образом, что дальнейшее добавление новых алгоритмов и структур данных не займет много времени, а изменения в коде не затронут логику работы основных модулей веб-приложения.

Таким образом, разрабатываемый программный продукт позволит студентам, преподавателям и разработчикам изучать алгоритмы и структуры данных в удобной и наглядной форме, проводить их анализ и выбирать наиболее эффективные решения для конкретных задач.

Список использованных источников:

1. Роберт Мартин Чистая архитектура. Искусство разработки программного обеспечения/ Роберт Мартин – Санкт-Петербург: Питер, 2022. – 352 с

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА УПРАВЛЕНИЯ УЧЕБНЫМ ПРОЦЕССОМ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ УЧРЕЖДЕНИИ

Лозюк В. В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Шамына А. Ю. – ст. преподаватель

Современное образование невозможно представить без активного использования информационных технологий. Программное обеспечение для образования играет ключевую роль в процессе обучения и управлении учебными заведениями. В данной работе рассматриваются ключевые аспекты разработки и внедрения системы управления учебным процессом и ее важность для современной системы образования.

Создание системы управления учебным процессом является актуальной задачей для образовательных учреждений всех уровней. В условиях постоянного развития технологий и увеличения объемов информации, традиционные методы обучения требуют значительных изменений и модернизации. Современные образовательные учреждения сталкиваются с необходимостью оптимизации учебного процесса, улучшения взаимодействия между учащимися и педагогами, а также повышения качества образовательных услуг. Эффективная система управления учебным процессом может стать важным инструментом в решении этих задач.

В Республике Беларусь уделяется особое внимание цифровизации образования, что отражено в государственных программах и стратегиях [1]. Одним из приоритетных направлений является внедрение современных информационно-коммуникационных технологий в учебный процесс, включая электронные журналы и дневники, автоматизированные системы управления учебными заведениями и цифровые образовательные платформы. Государственная политика в этой области направлена на повышение доступности и качества образования, а также на оптимизацию работы педагогов и администраторов.

Система управления учебным процессом представляет собой совокупность взаимосвязанных компонентов, обеспечивающих планирование, организацию, контроль и оценку образовательной активности. Её главная цель – обеспечить скоординированное участие всех участников учебного процесса: учащихся, педагогов, административного персонала и родителей. Такой подход позволяет не только повысить эффективность обучения, но и сократить временные затраты на управление учебными процессами.

Для того чтобы программное обеспечение было действительно полезным и действенным, его разработка должна учитывать специфику образовательной среды, потребности пользователей, технические возможности и потенциал для интеграции с уже существующими цифровыми платформами. Разработчики программного обеспечения должны иметь понимание образовательных процессов, методик обучения и использования информационных технологий в образовании.

На первоначальном этапе создания системы необходимо провести тщательный анализ текущих процессов. Следует определить, какие элементы образовательной деятельности нуждаются в улучшении, какие цифровые инструменты уже применяются, и какие из них можно адаптировать к новой системе. Это позволит выработать стратегически обоснованный план внедрения, соответствующий уникальным условиям конкретного учебного заведения.

На основе проведённого анализа разрабатывается модель будущей системы, включающая её структуру и функциональные особенности. При этом важно учитывать как внутренние особенности учреждения (например, численность учащихся и педагогов, профиль образования), так и внешние факторы (нормативные требования, стандарты образования). Для успешной реализации этой стадии необходимо привлечь к процессу всех заинтересованных сторон, что обеспечит понимание целей и задач создаваемой системы и будет содействовать её положительному восприятию.

Следующим шагом становится выбор подходящих технологических решений, которые смогут эффективно реализовать разработанную модель. На этом этапе целесообразно провести сравнительный анализ уже существующих аналогичных систем, чтобы определить их сильные и слабые стороны, оценить функциональность, удобство использования, уровень поддержки и возможности интеграции. Такой подход позволит обоснованно выбрать наиболее подходящее решение, соответствующее специфике учебного заведения и требованиям пользователей. Важно, чтобы выбранные технологии были удобны для всех участников процесса, соответствовали правовым нормам и обеспечивали защиту персональных данных.

После выбора технологий начинается этап внедрения системы, включающий в себя как технические, так и организационные мероприятия. Сюда относится установка и настройка программного обеспечения, проведение обучения для педагогов и учащихся, а также тестирование системы с целью выявления и устранения возможных ошибок до её полного запуска.

В первую очередь осуществляется установка и настройка программного обеспечения с учётом архитектуры и технических возможностей конкретного учебного учреждения. Это может включать интеграцию с уже действующими системами, настройку прав доступа, разработку пользовательских интерфейсов и адаптацию функций под нужды учреждения.

Параллельно с технической реализацией проводятся организационные мероприятия. Одной из ключевых задач является подготовка пользователей к работе в новой системе. Педагоги и учащиеся должны пройти обучение, направленное на освоение интерфейса и ключевого функционала системы. Это может быть реализовано в формате очных семинаров, онлайн-курсов, видеоруководств и печатных инструкций. Важно не только показать, как работает система, но и объяснить, как она может помочь в их повседневной деятельности – от планирования учебных занятий до отслеживания индивидуальных достижений.

Неотъемлемой частью внедрения является тестирование системы в реальных условиях. Пилотный запуск позволяет выявить возможные технические неисправности, недочёты в логике процессов, а также оценить удобство использования с позиции конечных пользователей. Полученные в результате тестирования данные служат основой для внесения необходимых корректировок до официального запуска системы в полном объёме.

Однако, когда система запущена и пользователи обучены, задача управления процессом не заканчивается. Необходимо организовать регулярный мониторинг работы системы и оценивать ее эффективность. Это можно делать с помощью опросов, анализа статистических данных и других методических приемов. Важно отметить, что система должна быть гибкой и адаптируемой к изменениям, как внутренним, так и внешним.

Преимущества внедрения системы управления учебной деятельностью очевидны. Во-первых, она позволяет существенно снизить нагрузку на административный персонал, автоматизируя рутинные процессы от регистрации учащихся до выставления итоговых оценок. Во-вторых, система обеспечивает объективность и прозрачность в оценивании успеваемости. В-третьих, она способствует повышению вовлечённости учащихся благодаря удобным инструментам для анализа индивидуального прогресса и взаимодействия с педагогами.

Кроме того, интеграция образовательного программного обеспечения с другими цифровыми технологиями – такими как интернет-ресурсы, мобильные приложения и облачные сервисы – открывает новые возможности для создания универсальных и многофункциональных платформ. Это не только повышает качество образовательного процесса, но и расширяет спектр доступных форм и методов обучения.

Разработка и внедрение программного обеспечения для образования становятся важнейшим направлением модернизации современной образовательной системы. В связи с большим количеством преимуществ, которые предоставляют электронные программные средства для учреждений образования, такие системы получили широкое распространение и активно внедряются в школах, колледжах и ВУЗах.

Министерство образования Республики Беларусь активно поддерживает инициативы по созданию и внедрению электронных дневников и журналов в учреждениях общего среднего образования. Эти меры соответствуют целям государственной программы «Цифровое развитие Беларуси» на 2021–2025 годы [2] и являются важным шагом на пути к цифровой трансформации всей образовательной системы страны.

Таким образом, разработка программного обеспечения для образования играет важную роль в современной системе образования, обеспечивая доступность, эффективность и качество обучения. Это позволяет учебным заведениям и обучающимся справляться с современными вызовами и требованиями, а также реализовывать инновационные подходы к образованию.

Список использованных источников:

1. Edu.gov.by [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: https://edu.gov.by/news/v-tsentre-vnimaniya--tsifrovizatsiya-obrazovaniya/

2. Mpt.gov.by [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: https://www.mpt.gov.by/ru/gosudarstvennaya-programma-cifrovoe-razvitie-belarusi-na-2021-2025-gody

АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ РАСХОДОВ НА КОНТЕКСТНУЮ РЕКЛАМУ

Харлап Д.О.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Савёнок В.А. – ст. преподаватель

В работе рассмотрен алгоритм оптимизации расходов на контекстную рекламу в Google Ads и Яндекс Директ. Разработанный метод основан на анализе накопленной статистики по ключевым словам. Была применена адаптивная модель изменения ставок в зависимости от отклонения целевой стоимости заявки. Предварительное тестирование показало снижение неэффективных затрат и более точное распределение бюджета между результативными ключевыми словами.

В современных условиях цифрового маркетинга контекстная реклама занимает ключевое место в продвижении товаров и услуг. Малый и средний бизнес активно использует рекламные инструменты, такие как Google Ads и Яндекс Директ, однако значительная часть рекламных бюджетов расходуется неэффективно. Основной причиной является недостаточный контроль за ключевыми словами и ставками, что приводит к необоснованным затратам без получения конверсий. В связи с этим актуальной задачей является разработка алгоритма, позволяющего оптимизировать расходы на рекламу путем анализа эффективности ключевых слов и динамической корректировки ставок.

Разработанный алгоритм основан на принципе накопления статистики по ключевым словам и оценке их эффективности [1]. Для каждого ключевого слова в рамках рекламной кампании были проанализированы:

– общая сумма затрат за определенный временной период;

– количество конверсий (целевых действий пользователей);

– средняя стоимость привлеченного клиента.

Анализ осуществлялся с использованием скользящего временного окна (30 дней), что позволило учитывать динамику изменения показателей и оперативно корректировать ставки.

Алгоритм работает в несколько этапов:

– Сбор данных – ежедневное извлечение статистики по ключевым словам из Google Ads [2] и Яндекс Директ [3], включая затраты, количество кликов и конверсии.

– Анализ эффективности – расчёт стоимости привлеченного клиента для каждого ключевого слова, сравнение с установленной целевой стоимостью заявки.

– Коррекция ставок – динамическое изменение ставок по результатам анализа. Если стоимость клиента была ниже оптимальной, ставка повышалась для увеличения охвата аудитории. В случае значительного превышения бюджета по нерезультативным ключевым словам ставки снижались вплоть до полного отключения данных ключевых слов.

Коррекция ставок выполнялась адаптивно: чем больше отклонение от оптимального значения, тем более значительное изменение ставки применяется. Такой подход позволил минимизировать потери и перераспределить бюджет в пользу эффективных ключевых слов.

Кроме оптимизации ставок по ключевым словам, в алгоритме также учитывались корректировки ставок по полу, возрасту и типу устройства. В процессе анализа накопленной статистики, определялось, какие сегменты аудитории являлись целевыми для тех или иных рекламных объявлений, и в соответствии с этим были скорректированы ставки. Это позволило более точно распределить рекламный бюджет, увеличить охват наиболее перспективных пользователей и снизить затраты на менее результативные группы.

В ходе тестирования алгоритма на выборке рекламных кампаний было отмечено снижение затрат в среднем на 18% за месяц при сохранении количества конверсий. В отдельных случаях наблюдался рост числа заявок благодаря перераспределению бюджета на более эффективные ключевые слова.

Предложенный алгоритм динамической коррекции ставок позволил автоматизировать процесс управления рекламными бюджетами, снизить затраты на нерентабельные ключевые слова и увеличить результативность кампаний. Использование гибкой модели регулирования ставок обеспечило адаптацию к изменяющимся условиям рынка, повысив рентабельность контекстной рекламы.

Список использованных источников:

1. Маршалл П. Контекстная реклама, которая работает. Библия Google AdWords / Маршалл П., Тодд Б. – М. : Манн, Иванов и Фербер, 2014. – 420 с.

2. Google Ads API Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://developers.google.com/google-ads/api. – Дата доступа: 24.03.2025.

3. Яндекс Директ. Зачем контекстная реклама нужна бизнесу, сколько она может стоить и как её запустить [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://direct.yandex.ru/base/articles/kontekstnaya-reklama-chto-eto. – Дата доступа: 24.03.2025.

РЕДАКТИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА МОБИЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЕ IOS

Харитоненко Д.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Савёнок В.А. – ст. преподаватель

В работе рассмотрены возможности мобильной платформы iOS для редактирования изображений, а также методы интеграции и оптимизации производительности. Проанализированы инструменты Core Image и Metal, использование 3D LUT. Описаны подходы к улучшению пользовательского опыта приложения фоторедактора, включая удобное взаимодействие с интерфейсом, а также архитектурные принципы организации кода для разделения логики и упрощения поддержки приложения.

Редактирование изображений на компьютерах началось с появлением программы Photoshop [1]. Со временем, с развитием мобильных устройств и сенсорных экранов, а также улучшением качества мобильных камер, редакторы изображений стали доступны и на смартфонах. Сегодня такие приложения являются незаменимыми для активных пользователей соцсетей и любителей фотографии, предлагая широкий набор инструментов и удобный пользовательский интерфейс, понятный даже непрофессионалам.

Мобильная платформа iOS включает четыре слоя: Cocoa Touch, Media, Core Services и Core OS. Слой Media содержит фреймворки, предназначенные для работы с изображениями, видео и текстом, в том числе Core Image, который предоставляет инструменты для обработки.

Для обсуждения Core Image необходимо сначала ввести понятие фильтра. Фильтр – это объект, который имеет определённое количество входных и выходных параметров и выполняет преобразование данных.

Core Image – это технология обработки изображений, обеспечивающая высокую точность, работу вблизи реального времени. Она упрощает применение фильтров, скрывая низкоуровневые операции с пикселями, что позволяет разработчикам легко добавлять эффекты без сложного кода.

Фильтры применяются к изображению без изменения исходных данных, что позволяет редактировать изображение недеструктивно. Пользователь может настраивать параметры фильтров, добиваясь нужного эффекта [2].

Core Image предоставляет обширный набор встроенных фильтров для обработки изображений, охватывающих различные категории эффектов. К примеру, фильтры размытия, такие как CIBoxBlur, создают эффекты размытия изображения. Фильтры коррекции цвета позволяют изменять параметры цвета изображения, такие как экспозиция, гамма-коррекция и сепия. Фильтры композиции, такие как CIAdditionCompositing, позволяют комбинировать два изображения с различными режимами наложения. Фильтры искажения создают эффекты искажения, такие как закручивание или воронка [3].

Помимо использования встроенных фильтров, разработчики могут создавать собственные с помощью CIKernel – объекта в Core Image, который содержит программный код для обработки изображения. Он позволяет реализовывать кастомные фильтры для более сложных операций, не поддерживаемых стандартными фильтрами Core Image. Для создания таких фильтров используется Metal Shading Language (MSL), который предоставляет возможность писать шейдеры для работы с изображениями, обеспечивая высокую производительность через вычисления на графическом процессоре.

Core Image поддерживает наложение нескольких фильтров одновременно. Вместо последовательного применения каждого фильтра создаётся оптимизированный конвейер инструкций, позволяющий выполнить все операции за один цикл обработки пикселей. Это ускоряет вычисления, минимизируя задержки. Обработку выполняет либо CPU, либо GPU, в зависимости от того, какое устройство обеспечит лучшую производительность, используя компиляцию «на лету» (JIT). [4]

Для данного вида программного обеспечения важен быстрый отклик. Например, при изменении интенсивности параметра на слайдере изменения должны мгновенно отображаться на изображении. Это требует высокой производительности обработки и отображения изображений. Одним из решений для реализации такого отклика является использование представления MTKView. В отличие от UIImage, который в основном используется для отображения статичных изображений и работает на CPU, использование Metal с MTKView позволяет задействовать графический процессор для рендеринга и обработки изображений в реальном времени. Данное представление упрощает интеграцию высокопроизводительных графических операций в приложения. MTKView автоматически управляет слоем CAMetalLayer, который отвечает за отображение рендеренного содержимого на экране. Для работы MTKView требуется объект MTLDevice, представляющий собой интерфейс к GPU. Этот объект используется для создания и управления другими объектами Metal, такими как очереди команд и буферы команд.

Взаимодействие с GPU в Metal осуществляется через отправку команд, которые организуются в буферы команд (MTLCommandBuffer). Для управления этими буферами используется очередь команд (MTLCommandQueue). Разработчик создаёт буфер команд, записывает в него необходимые команды с помощью кодировщиков команд (MTLCommandEncoder), а затем отправляет буфер на выполнение GPU. Такая организация позволяет эффективно управлять процессом рендеринга и выполнять сложные графические операции с высокой производительностью [1].

Фильтры в контексте пользовательского приложения – это предустановленные настройки цветокоррекции, позволяющие мгновенно изменить тон и стиль фотографии. Они представляют собой комбинацию цветовых изменений, таких как баланс белого, насыщенность, контраст и оттенки теней и светов. Один из популярных способов реализации таких фильтров – использование 3D LUT (Look-Up Table). LUT – это таблица соответствия цветов, используемая для преобразования исходных цветовых значений в новые, согласно заданной схеме. В случае 3D LUT такая таблица представляется в виде цветового куба, где каждому входному цвету соответствует откорректированный выходной цвет. В Core Image фильтр CIColorCube позволяет накладывать 3D LUT на изображения, трансформируя их цветовую гамму в соответствии с таблицей соответствия.

В фоторедакторах список фильтров обычно представлен в виде миниатюр с предварительно наложенными эффектами. Для оптимизации обработки сначала уменьшают изображение, а затем применяют фильтры, так как миниатюры имеют небольшой размер, и обработка полного изображения была бы избыточной.

Важную роль в мобильных приложениях играет удобство интерфейса и пользовательский опыт. Инструменты следует грамотно сгруппировать, чтобы упростить навигацию. Например:

– обрезка, кадрирование, поворот;

– наложение фильтров и эффектов;

– настройка цветовых и световых параметров.

При использовании каждого инструмента желательно переходить на отдельный экран, чтобы сосредоточиться на редактировании. Для регулировки параметров можно использовать различные варианты слайдеров или управление жестами. [5]

Пресеты – это заранее настроенные параметры редактирования, которые можно мгновенно применять к изображениям. Они могут включать в себя фильтры, изменения цвета, освещения, контраста, и другие коррекции. Данный функционал делает редактирование в едином стиле удобнее.

В архитектуре редактора изображений важно разделять логику пользовательского интерфейса и бизнес-логику. Для этого стоит использовать ViewModel, которая отвечает за управление состоянием редактирования, а ViewController (View) – только за отображение данных. Эффективным решением будет внедрение объекта без состояния EditingStack, который управляет состоянием редактирования изображения, позволяя применять различные изменения. Этот объект загружает изображение, сохраняет его состояние и поддерживает историю изменений. Важной частью класса является его способность работать с многозадачностью и потоками с использованием разных очередей, что позволяет эффективно обрабатывать изображение. В EditingStack используется архитектура с хранением состояния, где каждое изменение фиксируется в истории редактирования. ViewModel должна управлять EditingStack, обновляя превью изображения при каждом изменении. ViewController, при этом, должен подписываться на изменения в ViewModel, оставаясь максимально лёгким и не содержащим состояние. Такой подход не только упрощает реализацию отмены и повтора изменений, но и делает код более чистым, модульным и удобным для расширения.

Список использованных источников:

1. Adobe Blog – URL: https://blog.adobe.com/en/publish/2025/02/19/celebrating-35-years-of-creativity-community-innovation-with-adobe-photoshop (дата обращения: 25.03.2025).

2. Apple Developer Documentation – URL: https://developer.apple.com (дата обращения: 25.03.2025).

3. Objc.io. An Introduction to Core Image – URL: https://www.objc.io/issues/21-camera-and-photos/core-image-intro (дата обращения: 25.03.2025).

4. Kodeco. Core Image Tutorial for iOS – URL: https://www.kodeco.com/25658084-core-image-tutorial-for-ios-custom-filters (дата обращения: 25.03.2025).

5. Resolve Cafe. Cube LUT Format Specification – URL: https://resolve.cafe/developers/luts (дата обращения: 25.03.2025)

6. User Interface Design of Mobile Photo Editors / Irma Rochmawati // Proceedings of the International Conference on Business, Economic, Social Science, and Humanities (ICOBEST 2018). – 2018. – P. 79.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ IP-ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ В СИСТЕМАХ БЕЗОПАСНОСТИ

Босько В.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Нестеренков С.Н. – канд. техн. наук, доцент

Были рассмотрены разнообразные системы видеонаблюдения, и было установлено, что цифровые системы превосходят аналоговые. Также были рассмотрены возможности использования цифрового видеонаблюдения в системах обеспечения безопасности.

Введение. Прежде чем приобрести камеру или создать систему видеонаблюдения, нужно понять, какие задачи она будет решать и для каких целей используется. Существует два вида систем видеонаблюдения: аналоговые и цифровые. В этой статье мы подробно рассмотрим различия между ними и перспективы использования IP-видеонаблюдения в системах безопасности.

Основная часть. В настоящее время существуют два основных вида систем видеонаблюдения: аналоговые и цифровые. Для обычного пользователя разница между ними будет заключаться в стоимости и функциональности оборудования. Аналоговые устройства станут оптимальным выбором для создания небольшой системы видеонаблюдения в частном доме или магазине. IP-камеры же лучше использовать в торговых центрах и других местах с большим скоплением людей. Более подробное сравнение этих двух типов систем представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Различия аналогового и цифрового видеонаблюдения

Параметр сравнения	Цифровое видеонаблюдения	Аналоговое видеонаблюдение
Цена	Более высокая цена	Невысокая цена
Способ передачи видеопотока	Видеоданные преобразуются в цифровой поток и отправляются на сервер	Прямой вывод картинки на экран при помощи электромагнитных импульсов
Качество изображения	Более высокое качество	Более низкое качество
Степень сжатия видеопотока	Сжатие при помощи кодеков H.265 и H.265+	Сжатие при помощи кодека H.264
Видеоаналитика	Есть	Нет
Возможность интеграции	Есть	Нет

В перспективе будущее за цифровыми технологиями в области обеспечения безопасности видеоданных. Они позволяют использовать специализированные программы и удобные способы обработки, анализа и классификации информации, проведения статистических и маркетинговых исследований, а также оптимизации рабочих процессов. IP-наблюдение успешно интегрируется в системы безопасности как крупных, так и небольших объектов. Оно может работать с аналоговым видеооборудованием и по стоимости приближается к аналоговым и гибридным системам видеорегистрации [1].

В последнее время активно разрабатываются и применяются системы видеоаналитики на основе нейронных сетей. Анализ видеопотока позволяет обнаруживать потенциальные угрозы на ранних стадиях и предотвращать их. Кроме того, искусственный интеллект в системах видеонаблюдения расширяет сферу применения технологии за пределы систем безопасности. IP-видеонаблюдение становится всё более популярным благодаря своей простоте и доступности. Система легко перемещается и перестраивается под новые задачи без необходимости прокладывать дополнительные кабели. Ещё один важный аргумент в пользу выбора IP-систем видеонаблюдения – это то, что цифровые мегапиксельные HD-камеры стали более доступными по цене, чем аналоговые устройства, а для обеспечения безопасности объекта их требуется гораздо меньше. Сегодня цифровое видеонаблюдение стало широкодоступным и используется для защиты различных объектов, включая частные жилые, офисные, административные и промышленные помещения [2].

Многие модели сетевых камер уже являются автономными, а концепция интернета вещей (IoT) позволяет создавать комплексные системы, объединяющие различные устройства: охранную сигнализацию, системы контроля доступа и другие модули. Эти устройства могут обмениваться данными без участия сервера. Это открывает широкие возможности для реализации различных сценариев. Например, сеть из нескольких камер может отслеживать подозрительный автомобиль, передавая информацию от одной камеры к другой. Это позволяет получить полную картину происходящего. Интеграция с системой контроля доступа позволяет оперативно реагировать на

попытки незаконного проникновения на охраняемую территорию и идентифицировать злоумышленников.

Нередко подобные системы способны даже предотвратить правонарушения. Рассмотрим простую систему из четырёх компонентов, которая работает без использования сервера. Для охраны территории используется тепловизионная камера. В случае возникновения нештатной ситуации, например, проникновения злоумышленника на объект в ночное время, тепловизор отправляет сигнал на поворотную камеру PTZ. Камера разворачивается в направлении сигнала. Одновременно с этим включаются наружное освещение и громкоговоритель, который воспроизводит заранее записанное сообщение с требованием немедленно покинуть охраняемую территорию. Согласно данным Alarm.org, такой подход позволяет предотвратить до 74% незаконных проникновений [3].

Также в последнее время всё больше внимания уделяется интеграции систем видеонаблюдения с облачными сервисами. Облачные технологии позволяют хранить видеозаписи вне физического объекта, обеспечивая более надёжную защиту данных и доступ к ним из любой точки мира. Такой подход особенно востребован для объектов, которые сложно или невыгодно обслуживать централизованно. При этом система может быть легко масштабирована, а данные автоматически резервируются.

Ещё одна важная тенденция – развитие edge computing, то есть обработка видеоданных непосредственно на камере или локальном устройстве. Это снижает нагрузку на сеть и позволяет мгновенно реагировать на события без ожидания обработки на сервере. Камеры с искусственным интеллектом могут распознавать лица, фиксировать нарушения правил поведения, отслеживать движения и оценивать загруженность помещений в реальном времени. Такие технологии особенно полезны для объектов, где важна быстрая реакция: аэропортов, вокзалов, банков и крупных торговых центров.

Архитектура системы с IP-видеонаблюдением приведена на рисунке 1.

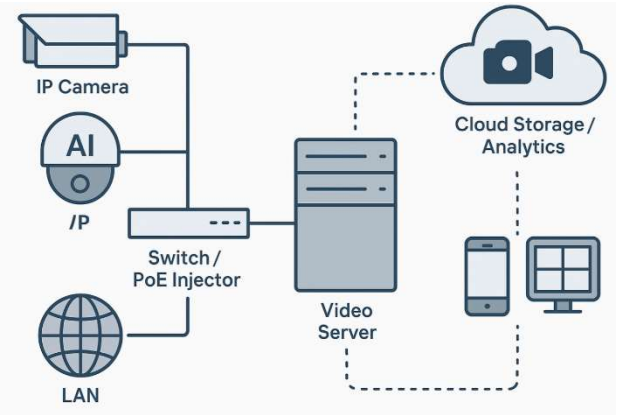


Рисунок 5 – Архитектура системы с IP-видеонаблюдением

Заключение. Проведено изучение разнообразных видов систем видеонаблюдения, в результате чего были определены их ключевые особенности. Это позволяет подобрать систему, которая наилучшим образом соответствует конкретным требованиям. Кроме того, были рассмотрены возможности развития цифровых систем видеонаблюдения. Можно сделать вывод, что современные цифровые системы видеонаблюдения достигли значительного прогресса, что приносит пользу как в сфере обеспечения безопасности, так и за её пределами.

Список использованных источников:

1. Перспективы развития отрасли видеонаблюдения: возможности современных систем видеоаналитики [Электронный ресурс] – Режим доступа https://habr.com/ru/company/wd/blog/350542/ – Дата доступа : 28.03.2025.

2. Цифровое или Аналоговое видеонаблюдение? Сравнение и преимущества [Электронный ресурс] – Режим доступа http://www.itsolution.by/stati/cifrovoe-ili-analogovoe-videonablyudenie-sravnenie-i-preimuschestva – Дата доступа : 28.03.2025.

3. Alarm.org [Электронный ресурс] – Режим доступа http://alarm.org/ – Дата доступа : 28.03.2025.

АЛГОРИТМ ИНСТАНЦИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ С РАЗНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Барилко М.А., Алейник И.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Красковский П.Н. – ст. преподаватель

Исследуется метод инстанцирования для оптимизации отрисовки множества объектов и его ограничение в игровом движке Unreal Engine на использование одного материала. Представление концепции для решение данного ограничения, применяя массивы текстур и передавая индекс текстуры как атрибут экземпляра.

Инстанцирование (instancing или «создание экземпляров») – это метод оптимизации вызова отрисовки, который визуализирует несколько копий объекта с тем же материалом в одном вызове отрисовки. Каждая копия объекта называется экземпляром(instance). Это полезно для рисования вещей, которые появляются несколько раз в сцене, например, деревьев или кустов, для того чтобы не делать отдельный вызов для каждой копии [1]. Основная цель инстанцирования – оптимизация производительности, особенно в сценах с большим количеством одинаковых или похожих объектов. Основная проблема которую он решает – это то, что при каждом вызове отрисовки от ЦПУ требуется выполнения определенной работы: подготовка состояния графического процессора, указание буферов данных, отправка команды на отрисовку, а когда на сцене нужно отобразить тысячи или миллионы похожих объектов (трава, деревья, солдаты в толпе, камни), то вся система начинает упираться в возможности центрального процессора и пропускную способность соединения с графическим ускорителем.

Основной принцип, по которому происходит инстанцирование: данные базового объекта загружаются в память видеокарты один раз; создается дополнительный буфер, который содержит уникальные данные для каждого отдельного экземпляра (например, его мировая матрица преобразования (позиция, поворот, масштаб), цвет, идентификатор текстуры и т.д.). ЦПУ отправляет одну специальную команду отрисовки, указывая базовую геометрию и количество экземпляров, которые нужно нарисовать. Видеокарта для каждого экземпляра (от 0 до N – 1, где N – количество экземпляров) выполняет вершинный шейдер. В шейдере доступны как атрибуты базовой геометрии, так и уникальные атрибуты текущего экземпляра (благодаря специальной настройке шага чтения из буфера атрибутов экземпляров). Вершинный шейдер вычисляет финальную позицию вершины в пространстве, используя и базовые, и уникальные для экземпляра данные. На рисунке 1 представлена разница без использования инстанцирования и с ним. Можно заметить, что при использовании инстанцирования уменьшается использование памяти, уменьшается время отрисовки и количество вызовов отрисовки.

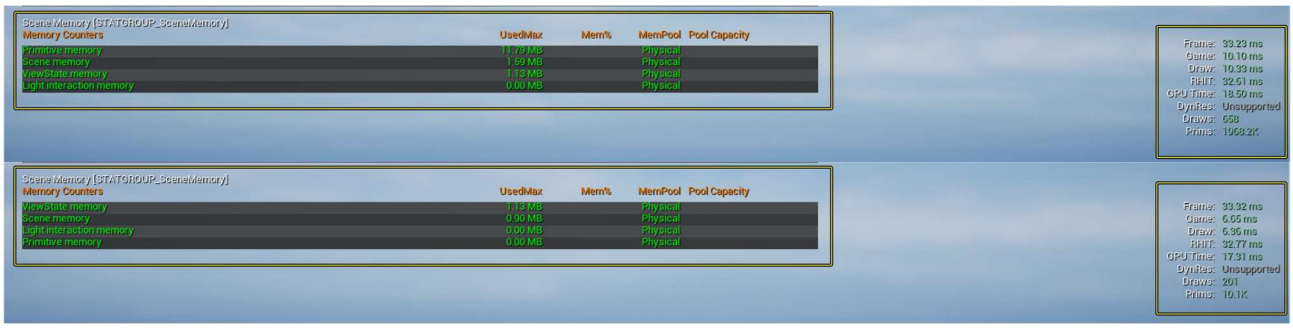


Рисунок 1 – Сравнение работы без использования инстанцирования и с использованием [2]

Этот общий принцип инстанцирования находит свою реализацию в различных графических API и игровых движках, однако конкретные реализации могут иметь свои особенности и ограничения. Например, рассматривая стандартные инструменты инстанцирования в популярном движке Unreal Engine, такие, как компоненты Instanced Static Mesh (ISMC) и Hierarchical Instanced Static Mesh (HISM), необходимо учитывать важное ограничение: все экземпляры внутри одного компонента обязаны использовать один и тот же ресурс модели и, как следствие, одни и те же ресурсы материалов. Прямая возможность назначить разные ресурсы материалов отдельным экземплярам в рамках одного компонента и одного вызова отрисовки не предусмотрена. Это ограничение напрямую связано с целью оптимизации, так как смена материалов является ресурсоемкой операцией для графического

процессора [2]. Однако данное ограничение становится существенным препятствием при создании сложных и визуально насыщенных сцен, где требуется высокий уровень детализации и разнообразия даже для массовых объектов. Например, при визуализации городских кварталов с различными вариациями зданий, лесных массивов с отличающимися по состоянию деревьями (сухие, молодые, покрытые мхом) или толп персонажей с разной одеждой, стандартный подход требует либо компромиссов в визуальном качестве, либо отказа от преимуществ инстанцирования для этих объектов, что приводит к падению производительности.

В рамках разработки программного средства ßaron для разработки игровых приложений на базе графического API Vulkan была поставлена задача преодолеть это ограничение. Был предложен подход, который, сохраняя фундаментальные преимущества инстанцирования, позволяет добиться визуального разнообразия, эквивалентного использованию разных материалов для отдельных экземпляров. Ключевая идея решения заключается в использовании массивов текстур.

В контексте Vulkan API, массивы текстур представляют собой специализированный тип ресурса изображений (VkImage), позволяющий объединить множество двумерных текстурных слоев в единую логическую сущность. Данная структура данных характеризуется строгим требования составляющих ее слоев: все они должны обладать идентичными размерами (ширина и высота), одинаковым форматом пиксельных данных (VkFormat) и идентичным количеством уровней детализации (MIP-уровней). Создание такого ресурса осуществляется посредством задания параметра arrayLayers в структуре VkImageCreateInfo значением, превышающим единицу, при сохранении imageType равным VK_IMAGE_TYPE_2D [3]. Остаётся только добавить в буфер с уникальными данными для каждого экземпляра переменную, хранящую в себе идентификатор необходимого материала. На рисунке 2 представлен результат реализации подхода.

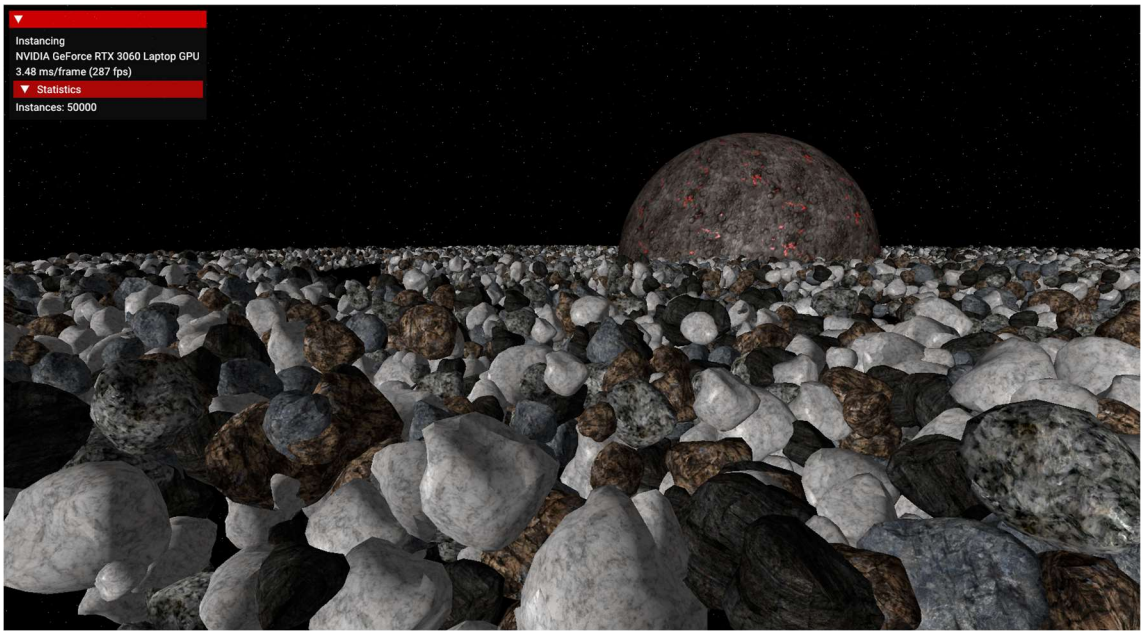


Рисунок 2 – Конечный результат реализации подхода [4]

Таким образом, реализация инстанцирования в программном средстве ßaron, использующая массивы текстур (Texture Arrays) в рамках Vulkan API, эффективно решает проблему ограничения стандартных подходов, требующих использования одного материала для всех экземпляров в рамках одного вызова отрисовки. Это позволяет достичь необходимого уровня визуального разнообразия в сценах с большим количеством однотипных объектов, не жертвуя при этом ключевыми преимуществами инстанцирования – существенным снижением нагрузки на ЦПУ и оптимизацией процесса отрисовки. Данный подход демонстрирует гибкость Vulkan API и открывает возможности для создания более разнообразных виртуальных миров при сохранении высокой производительности.

Список использованных источников:

1. Introduction to GPU instancing. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.unity3d.com/Manual/GPUInstancing.html – Дата доступа: 03.04.2024.

2. Instanced Static Mesh Component [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/instanced-static-mesh-component-in-unreal-engine – Дата доступа: 03.04.2024.

3. Vulkan Specification. Images [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://registry.khronos.org/vulkan/specs/latest/html/vkspec.html#VkImage – Дата доступа: 04.04.2024.

4. Vulkan Samples [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://github.com/KhronosGroup/Vulkan-Samples – Дата доступа: 07.04.2024.

СОЗДАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ РОЛЕВОЙ ИГРЫ С ОТКРЫТЫМ МИРОМ НА ИГРОВОЙ ПЛАТФОРМЕ MINECRAFT

Бурбовский Е.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Сурков К.А. – ст. преподаватель

Цель исследования – демонстрация технических решений, позволивших преобразовать игровую платформу Minecraft в компьютерную ролевую игру с открытым миром по мотивам «Игры престолов». В тезисе анализируются вопросы выбора технологического стека, архитектуры, реализации игровых механизмов и обеспечения стабильности функционирования модуля расширения «Игра престолов». В результате показано, что выбранные подходы позволяют успешно разработать масштабный и стабильный модуль, который органично интегрируется в игровую платформу Minecraft и реализует компьютерную ролевую игру с открытым миром.

Разработка компьютерной ролевой игры с открытым миром представляет собой сложную задачу, требующую значительных ресурсов и опыта. Традиционно она осуществляется крупными студиями, поскольку для её решения необходимо создать детально проработанный мир, написать интересный сюжет, разработать сложные игровые механики и обеспечить стабильную функциональность игры. Однако, используя возможности модификации игровой платформы Minecraft, можно существенно снизить порог входа и реализовать проект силами одного человека. Создание модуля расширения «Игра престолов», погружающего игроков во вселенную писателя Джорджа Мартина, демонстрирует возможность успешной трансформации существующего контента игровой платформы Minecraft в мир «Льда и огня» с его сложными политическими, экономическими и географическими механиками, а также сохранение стабильной работы полученного программного средства в многопользовательском режиме.

Разработка модуля расширения состоит из нескольких этапов: выбор технологического стека, проектирование архитектуры, проектирование игровых механик, реализация и тестирование.

Основным языком программирования был выбран язык Java, что обусловлено его полной совместимостью с кодом игровой платформы Minecraft и отсутствием дополнительных зависимостей. Альтернативные языки, Kotlin и Scala, были отклонены из-за проблем с ссылочной безопасностью и необходимостью использования сторонних библиотек, что может привести к конфликтам при установке нескольких модулей расширения.

Для модификации игры было решено использовать библиотеку-загрузчик Forge, которая является наиболее стабильной и поддерживаемой платформой. Она обеспечивает программный интерфейс для безопасного внедрения кода посредством механизмов событий и регистрации контента, что исключает необходимость прямого редактирования исходных файлов игровой платформы Minecraft. Это снижает риски несовместимости с другими модулями расширения и упрощает процесс разработки.

Для расширения взаимодействия с исходным кодом игры было решено использовать библиотеку ASM и рефлексию. Библиотека ASM позволяет модифицировать поведение существующих классов игры в реальном времени, например, для перехвата интерфейса наковальни и его замены на интерфейс кузнеца. Рефлексия широко используется для доступа к приватным полям и методам игровой платформы, что необходимо при реализации сложных механик.

Модуль расширения было решено реализовывать в соответствии с парадигмой объектно-ориентированного программирования (ООП), в связи с чем весь код было решено разделить на пакеты. Каждый пакет содержит набор инкапсулированных классов, объединённых общей темой. Архитектура модуля расширения, аналогично архитектуре игровой платформы Minecraft, является клиент-серверной.

Пакет client отвечает за обработку графической и аудио составляющих. Он выполняется исключительно на стороне клиента.

Пакет common содержит основную логику игры, включая механики, данные и контент. Он выполняется как на сервере, так и на клиенте, что позволяет обеспечить функциональность игры без доступа к сети.

Чтобы спроектировать и реализовать основные механики, необходимо изучить контент других компьютерных ролевых игр. Как правило, в каждой из них можно выделить следующие группы механик: политические, экономические и географические. Важно отметить, что каждое действие игрока в мире должно оказывать влияние на окружающую среду, способствуя повышению иммерсивности.

Политика представляет собой ключевую группу механик, определяющих основу игрового процесса. В неё входят такие понятия, как формации, репутация, присяга, завоевание и вторжение. Реализация сопряжённых механик требует разработки тщательно структурированных алгоритмов, основанных преимущественно на логических принципах. Необходимо учитывать канон, реализм,

игровые условности и баланс. Количество союзников и противников у каждой фракции должно быть примерно равным, чтобы какие-то фракции не являлись чересчур сильными. Что касается завоеваний и достижений, то игровой процесс должен обеспечивать максимальное количество событий, но не перегружать игрока. Репутация игрока должна определять, как неигровые персонажи реагируют на него, что ему дозволено делать и какие достижения и звания он может получать у той или иной формации. На рисунке 1 приведена шкала репутации, где меч указывает ближе к левому краю (плохая репутация) или правому краю (хорошая репутация).



Рисунок 1 – Шкала репутации

Экономика тесно связана с политической компонентой игры, поскольку каждая формация в игре обладает собственной денежной системой и неигровыми персонажами, предлагающими товары или услуги за деньги. Экономическая система включает такие понятия, как валюта, размен монет, торговля, кузнечное ремесло и наём. Реализация сопряжённых механик требует анализа различных сценариев, ведения математических расчётов и проработки ограничений, которые предотвращают злоупотребление экономическими механизмами. Например, при формировании случайных цен на товары у неигровых персонажей необходимо исключить возможность перепродажи предметов с прибылью. Возможность зарабатывать деньги должна быть пропорциональна возможности их расходовать, поскольку иначе инфляция может упростить и сделать менее интересным игровой процесс. Также необходимо в равной степени стимулировать разные виды деятельности, чтобы игроки равномерно задействовали все сферы игрового процесса.

География неразрывно связана с политической составляющей игры, так как любая формация в игре обладает собственной территорией, городами, замками и деревнями. Также география отвечает за разнообразие: одни и те же механики в разных регионах мира ощущаются по-разному. География включает такие понятия, как карта мира, быстрое путешествие, поры года и зафиксированные структуры. Реализация сопряжённых механик требует тщательного тестирования временных затрат на различные стадии игрового процесса. Необходимо минимизировать длительные путешествия посредством телепортации, одновременно вводя ограничения для предотвращения злоупотребления ею при попытках избежать боевых взаимодействий. Фиксированные структуры (локации) должны быть детально проработаны и включать в себя население и артефакты, чтобы предоставить игроку дополнительные цели при путешествиях. Все регионы должны быть в равной степени интересны и наполнены контентом, чтобы игроки не избегали каких-либо мест в мире и равномерно путешествовали по всем областям. Например, самые дальние регионы могут иметь редкие руды или удвоенную генерацию полезных ископаемых.

Для обеспечения стабильности и производительности модуля расширения было проведено тестирование в различных конфигурациях, таких как одиночная игра, многопользовательский сервер и комбинированные сборки модификаций. Была реализована система отмены изменений на основе хранения состояний мира.

Результаты разработки подтверждают эффективность выбранных технических решений. Использование библиотеки-загрузчика Forge и языка Java обеспечивает стабильность, модульная архитектура ускоряет процесс разработки, а гибридный подход к созданию контента позволяет объединить каноничность и вариативность. Тщательная проработка алгоритмов и механик позволила создать продуманный иммерсивный мир и разнообразный игровой процесс. Таким образом, модуль расширения «Игра престолов» демонстрирует, что даже один разработчик может создать масштабную и увлекательную компьютерную ролевую игру с открытым миром на игровой платформе Minecraft, используя возможности её модификации и тщательно спланированный подход к разработке.

Список использованных источников:

1. Forge Docs [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.minecraftforge.net/en/1.21.x – Дата доступа: 17.02.2025

ВНЕДРЕНИЕ ВИРТУАЛЬНОЙ ВАЛЮТЫ В МОБИЛЬНЫЕ И ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

Буховец А.Г.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Хмелева А.В. – канд. техн. наук, доцент

В работе рассматривается реализация виртуальной валюты в мобильных и веб-приложениях, ее влияние на экономику цифровых сервисов и механики монетизации. Анализируются внутриигровые и платформенные валюты, системы вознаграждений, а также риски, связанные с регулированием и мошенничеством. Приведены примеры успешного использования ВВ в играх, соцсетях и e-commerce. Особое внимание уделено перспективам интеграции блокчейна и искусственного интеллекта для повышения безопасности и эффективности виртуальных экономик.

Развитие цифровой экономики и стремительное распространение мобильных технологий привели к активному внедрению виртуальной валюты в приложения различной направленности. Использование цифровых активов внутри приложений позволяет не только расширить функционал и повысить вовлечённость пользователей, но и создать новые модели монетизации, обеспечивающие стабильный доход разработчикам. Особенно актуальной эта тенденция становится в условиях глобальной цифровизации сервисов, когда пользовательская активность всё чаще переносится в виртуальное пространство, а мобильные приложения становятся инструментами не только развлечения, но и социальной, образовательной и финансовой коммуникации. Виртуальная валюта открывает перед разработчиками новые горизонты, делая приложение не просто сервисом для потребления контента, а полноценной платформой для экономических взаимодействий между пользователями и создателями продукта.

Виртуальная валюта (ВВ) представляет собой цифровые активы, предназначенные для использования в пределах определённой экосистемы. Такие валюты могут выполнять функции расчётного средства, единицы учёта или быть инструментом вознаграждения пользователей. Понятие ВВ стало особенно популярным благодаря росту мобильных и веб-приложений, которые стремятся удерживать аудиторию и создавать дополнительные источники дохода. Концепция ВВ во многом вдохновлена криптовалютными технологиями, однако не всегда опирается на блокчейн. В отличие от криптовалют, виртуальная валюта, используемая в приложениях, централизована, контролируется разработчиком и, как правило, не может свободно обмениваться на реальные деньги, что отличает её и в юридическом смысле от электронных денег [1]. Это различие подчёркивает уникальность ВВ как инструмента для обеспечения экономической активности внутри приложения, несмотря на общие черты с более известными криптовалютами.

Внедрение ВВ может осуществляться различными способами. Один из наиболее распространённых – создание внутренней валюты, приобретаемой за реальные деньги или зарабатываемой в процессе использования приложения. Такие механики лежат в основе freemium-модели, при которой пользователь получает базовый функционал бесплатно, а за дополнительные возможности платит виртуальной валютой. Это позволяет создать стабильную финансовую модель даже при относительно небольшой пользовательской базе [2]. Важно отметить, что этот подход даёт возможность разработчикам оценивать эффективность своей монетизации на разных уровнях – от базовых услуг до премиум-функций. В некоторых случаях ВВ может быть использована как основа для подписок, где пользователи, накопив определённое количество валюты, могут пользоваться эксклюзивным контентом.

Практика показывает, что наиболее успешными становятся проекты, в которых ВВ интегрирована в основные сценарии пользовательского взаимодействия, а не существует как побочная функция. В этой связи ключевым является создание «ценности» виртуальной валюты – пользователь должен ощущать её значимость и полезность. Разработчики Duolingo, к примеру, предлагают пользователю тратить виртуальные монеты на дополнительные уроки или бонусные тренировки, что делает валюту частью образовательного процесса и усиливает мотивацию к обучению. Такая механика, основанная на геймификации, мотивирует пользователей продолжать использовать приложение, ведь ВВ становится не просто элементом оформления, а реальным инструментом для достижения поставленных целей.

Особенно активно ВВ применяется в игровой индустрии. Fortnite использует V-Bucks, World of Warcraft – золото, TikTok – монеты, YouTube – Super Chats. Эти механики усиливают вовлечённость, способствуют формированию пользовательских привычек и открывают путь к формированию устойчивых экономик внутри цифровых продуктов [3]. Однако это также вызывает опасения, связанные с манипуляцией поведением пользователей. Вопрос, где проходит граница между вовлечением и

зависимостью, остаётся открытым. Как показывает практика, всё зависит от прозрачности механик и наличия альтернатив для пользователей, не желающих тратить реальные деньги [4].

Персонализация – один из важнейших трендов. Использование ИИ позволяет не только корректировать вознаграждение, но и проектировать сценарии в реальном времени, подстраивая механику под предпочтения конкретного игрока. Это не только повышает уровень удержания, но и позволяет создать уникальный пользовательский опыт, способствующий формированию долгосрочной лояльности [5]. Применение персонализированных механизмов виртуальной валюты позволяет значительно улучшить пользовательский опыт, предлагая ему именно те возможности, которые соответствуют его интересам и привычкам.

С точки зрения монетизации, ВВ позволяет интегрировать микротранзакции и гибкие рекламные модели. Пользователь может получать виртуальные монеты за просмотр видео или выполнение заданий. Это снижает негативное восприятие рекламы и повышает её эффективность. Модель применяется в приложениях вроде Sweatcoin и Stepn, где вознаграждение выплачивается за физическую активность, а реклама органично вплетена в пользовательский опыт [2]. Введение в приложение элементов геймификации и виртуальной валюты позволяет не только создавать интересные механики, но и поддерживать высокие показатели вовлечённости и удержания пользователей.

Однако внедрение ВВ сопряжено с юридическими и этическими вызовами. В разных странах действуют различные нормы. Так, в ЕС действует директива AMLD5, регулирующая оборот цифровых активов. В США компании обязаны соблюдать требования FinCEN. Республика Беларусь демонстрирует более либеральный подход к цифровым активам, особенно в рамках ПВТ и декрета №8 «О развитии цифровой экономики». Тем не менее, использование ВВ в коммерческих продуктах, доступных широкой аудитории, требует учёта норм о защите прав потребителей, регулировании микроплатежей и предотвращении отмывания средств [4].

В перспективе развитие виртуальной валюты связано с интеграцией блокчейн-технологий. Уже сегодня появляются гибридные модели, в которых внутренняя валюта может быть частично токенизирована, а часть функционала реализована с помощью смарт-контрактов. Это расширяет возможности использования и обеспечивает большую прозрачность транзакций. Более того, появление концепции метавселенных формирует спрос на унифицированные цифровые валюты, которые могут функционировать в различных приложениях и виртуальных пространствах. Блокчейн, как технология, может стать основой для создания более децентрализованных, но при этом безопасных и прозрачных экосистем [5].

В долгосрочной перспективе виртуальная валюта может стать связующим элементом между цифровыми сервисами и реальным сектором экономики. Интеграция с маркетплейсами, программами лояльности, банковскими продуктами и государственными услугами уже обсуждается как часть концепции «умного города» и цифрового гражданства. При этом важным остаётся соблюдение принципов этичного дизайна и справедливого распределения цифровых ресурсов между пользователями. Разработка эффективных, справедливых и прозрачных механизмов для обмена и использования ВВ в глобальной цифровой экономике является ключевым фактором её успешной интеграции в различные социальные и экономические сферы.

Таким образом, виртуальная валюта в приложениях – это не просто инструмент монетизации, а основа формирующейся цифровой экономики, в которой пользователь одновременно является и потребителем, и участником создания ценности. Успех внедрения ВВ зависит от комплексного подхода, включающего технологические, правовые, поведенческие и экономические аспекты. Беларусь, обладая развитой ИТ-инфраструктурой и гибкой регуляторной средой, может стать площадкой для апробации инновационных моделей использования виртуальной валюты в мобильных и веб-приложениях.

Список использованных источников:

1. Nakamoto S. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. *2008.*

2. Evans D. S. The Economics of the Virtual Currency Market. *Journal of Economic Perspectives, 2014.*

3. Apple Inc. App Store Review Guidelines. *2023.*

4. Герасименко В.Ю. Виртуальная экономика: перспективы и вызовы. *Минск: БелГу, 2022.*

5. Kim H.M., Laskowski M. A perspective on blockchain smart contracts: Reducing uncertainty and complexity in value exchange. *Business Horizons, 2018.*

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МОДУЛЕЙ ЯДРА ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С МИКРОЯДЕРНОЙ АРХИТЕКТУРОЙ

Шлык П.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Оношко Д.Е. – ст. преподаватель

В работе рассматриваются основные принципы и концепции взаимодействия модулей ядра, используемые в процессе разработки прототипа операционной системы для платформы IA-32.

Основным недостатком операционных систем с микроядерной архитектурой является меньшая производительность, если сравнивать с операционными системами с другими архитектурами. Производительность операционной системы снижается по следующим причинам [1]:

1) высокая стоимость перехода из режима пользователя в режим ядра;

2) высокая стоимость переключения контекста исполнения задачи;

3) неэффективная иерархия взаимодействия между модулями ядра.

Дополнительной проблемой коммуникации модулей является возможность возникновения ситуации циклической зависимости данных между модулями. Ядро должно предлагать структурные гарантии по недопущении циклической зависимости. Выделяются несколько способов:

1) однонаправленный порядок сообщений (partial message ordering);

2) системные политики управления сообщениями.

Однонаправленный порядок сообщений предполагает ограничения на отправку запросов-ответов клиента-сервера. Например, если процесс A отправил сообщение процессу B, то процесс B не может отправить сообщение процессу A.

Системные политики позволяют конфигурировать те процессы, которым заданный процесс модуля ядра может отправлять или от которых процесс может получать сообщения.

Выделяется несколько типов взаимодействия в операционной системе с микроядерной архитектурой:

1) модуль-ядро;

2) модуль-модуль;

3) ядро-модуль.

Тип взаимодействия модуль-модуль, несмотря на кажущийся прирост производительности за счёт уменьшения количества обращений к ядру, приводит к усложнению топологии взаимодействия между модулями системы и, как следствие, к уменьшению надёжности системы в целом. Потому в процессе разработки прототипа операционной системы, было принято решение заменить взаимодействие между модулями ядра на взаимодействие модуля с самостоятельной подсистемой ядра. Тем самым достигается:

1) контроль за однонаправленным порядком сообщений;

2) отсутствие зависимостей модулей между собой и, как следствие, большая изолированность модулей между собой.

Хотя с точки зрения пользователя, ядро по-прежнему предоставляет единую функциональность, внутренняя структура ядра становится более модульной и устойчивой к отказам.

В качестве примера обработки пользовательского запроса предлагается выполнение операции записи над файлом (см. рисунок 1).

Запрос пользователя преобразуется в запрос виртуальной файловой системы (VFS) к соответствующему модулю файловой системы [2]. Модуль файловой системы выполняет запрос к подсистеме управления периферийными устройствами (IO). Подсистема IO преобразует запрос от модуля файловой системы в запрос к модулю соответствующего блочного устройства.

Ключевым элементом в реализации механизмов коммуникации в операционной системе являются каналы передачи сообщений. Выделяются следующие типы каналов:

1) каналы встречной пересылки сообщений (rendezvous messaging);

2) каналы буферизированной отправки сообщений.

Каналы встречной пересылки сообщений предоставляют синхронный способ для коммуникации между модулями: отправитель (или получатель) блокируется до тех пор, пока соответствующий получатель (отправитель) не будет готов для обработки сообщения. Встречная пересылка сообщений проста в реализации, но обладает рядом существенных недостатков:

1) потенциальная блокировка задач ядра;

2) задержка на ожидание действий от встречной стороны и, как следствие, снижение производительности модулей ядра;

3) вероятность возникновения состояния гонки (например, при обработке вложенных прерываний).

Каналы буферизированной отправки сообщений позволяют реализовать асинхронную модель взаимодействия между модуля ядра. Но, с другой стороны, затрудняется отладка модели коммуникации между модулями и увеличивается сложность всей системы:

1) проблема блокировки не решается полностью, так как задача может быть заблокирована при заполнении буфера сообщений;

2) дополнительные накладные расходы на поддержание очереди сообщений;

3) потенциальное увеличение времени отклика модулей системы на внешние события за счёт буферизации сообщений.

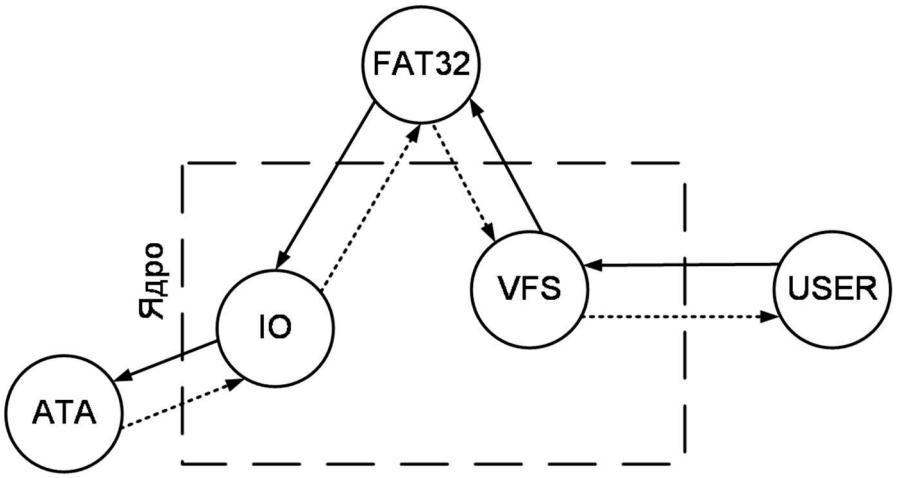


Рисунок 1 – Модель взаимодействия модулей ядра на примере обработки пользовательского запроса на запись в файл

Было принято решение использовать каналы буферизированной отправки сообщений в качестве основного средства коммуникации компонентов операционной системы.

Некоторые операционные системы производят периодическое сканирование каналов передачи сообщения на предмет блокировки между отправителем и получателем [3]. Это позволяет выявлять и разрешать состояния взаимной блокировки (deadlock), но требует дополнительных вычислительных ресурсов и усложняет управление системой. Кроме того, такой подход не всегда гарантирует своевременное обнаружение проблем, потому в разработанном прототипе операционной системы данный подход не используется.

Ядро операционной системы должно предоставить модулями периферийных устройств специализированный набор системных вызовов для реализации следующей функциональности:

1) конфигурация обработчика прерываний;

2) доступ к пространству портов ввода-вывода;

3) доступ к физической памяти.

Для платформы IA-32 обработчик прерываний представляет собой последовательность инструкций записи в память или в порты. Следовательно, конфигурация обработчика прерывания представляет собой задание этой последовательности инструкций. Но более детальное изучение вопроса позволит ограничить последовательность инструкций до одной: записи в определённый регистр периферийного устройства. И конфигурацией обработчика прерывания будет выбор одного из стандартных обработчиков, реализованного в ядре.

Для работы с устройствами, использующими прямой доступ к памяти (DMA) или регистры, расположенные в физической памяти, драйверы должны иметь возможность отображать физическую память в свое виртуальное адресное пространство. Следовательно, ядро должно предоставить системный вызов для безопасного отображения физической памяти, проверки прав и управления страницами памяти.

Можно сделать вывод, что операционная система с микроядерной архитектурой должна поддерживать как структурные возможности для контроля порядка взаимодействия между модулями ядра, так и средства коммуникации, подходящие под требования предметной области.

Список использованных источников:

1. Танненбаум, Э. Современные операционные системы / Э. Танненбаум, Х. Бос – 4-е изд. –СПб.: Питер, 2015. 1120 с.

2. Mauerer, W. Professional Linux Kernel Architecture / Wolfgang Mauerer – John Wiley & Sons, 2010. 1368 p.

3. Herder, Jorrit N. Towards a true microkernel operating system / Jorrit N. Herder. – Amsterdam:Vrije Universiteit, 2005. 117 p

ГЕНЕРАЦИЯ 3D-МОДЕЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ

Шафаренко Д. И.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Красковский П. Н. – ст. преподаватель

В данной работе рассматриваются методы решения задачи генерации трехмерных моделей, в частности генерация моделей в текстовом представлении с использованием больших языковых моделей, а также предлагается метод генерации, сочетающий в себе большие языковые модели и диффузионные модели.

Прежде чем приступить к решению задачи генерации 3D-моделей, необходимо определиться с целевым представлением. Существует множество 3D-представлений, такие как воксельное преставление, сетка полигонов, многоракурсное представление, облако точек, САПР-представление, неявное представление [1]. В данной работе в качестве целевого представления была выбрана полигональная сетка как наиболее удобное для непосредственного применения на практике.

Для решения задачи генерации 3D-моделей существуют различные архитектуры нейронных сетей, обладают разными характеристиками скорости, требуемой памяти и качества генераций, а также ориентированы на разные представления 3D-моделей. Для генерации полигональных сеток чаще всего используется авторегрессионный подход, который последовательно генерирует вершины и полигоны.

В данной работе выбран подход LLaMA-Mesh [2]. Этот подход в своей основе использует большую языковую модель LLaMA-3.1 [3], которая представляет собой архитектуру трансформера и, в сущности, является авторегрессионной моделью, предсказывающей следующий токен текста на основе предыдущих. В отличие от специализированных авторегрессионных моделей, подход, основанный на большой языковой модели, открывает возможности для совмещения 3D-генерации и текстового общения.

Подход LLaMA-Mesh дообучает LLaMA-3.1 на генерацию файлов формата OBJ, который хранит координаты вершин и полигонов в текстовом человекочитаемом виде. Языковые модели не могут обрабатывать числа естественным образом, потому необходимо предварительно обработать данные для обучения, чтобы добиться лучшего качества. Для этого координаты вершин и полигонов масштабируются и округляются до определенных дискретных значений, таким образом ограничивая возможную точность генераций, но облегчая задачу для языковой модели.

В данной работе предлагается объединить генерацию 3D-объектов при помощи авторегрессионных языковых моделей с диффузионными моделями, которые отличаются высоким качеством результатов генерации. Принцип работы диффузионных моделей заключается в итеративной одновременной генерации всех вершин и полигонов из нормального шума. Подход LLaDA [4] предлагает большую языковую модель на основе дискретной диффузионной модели, которая генерирует токены не последовательно, а в произвольном порядке. Предполагается, что последовательный порядок генерации 3D-модели является ограничением, и дискретная диффузионная модель позволит генерировать 3D-модель в произвольном порядке, вместе с тем сохраняя сочетание 3D-генерации и понимания естественного языка.

Чтобы сократить объем памяти, требуемый для дообучения модели, можно использовать технику QLoRA, которая сочетает в себе использование низкоранговой матрицы для обновления весов модели и квантизацию весов до 4 или 8 бит.

В результате работы было создано программное средство, сочетающее в себе функции генерации 3D-моделей и текстового диалогового общения, что становится возможным благодаря выбранному методу генерации. Однако этот метод обладает существенными ограничениями, в частности большие требования к вычислительным ресурсам и качество генерации, уступающее специализированным методам, что может быть следствием относительно небольшого размера используемой модели, поэтому стоит провести дальнейшие исследования способностей языковых моделей к генерации 3D-объектов с использованием моделей большего размера.

Список использованных источников:

1. Advances in 3d generation: A survey / X. Li [et al.] // arXiv preprint arXiv:2401.17807. – 2024.
2. Llama-mesh: Unifying 3d mesh generation with language models / Z. Wang [et al.] // arXiv preprint arXiv:2411.09595. – 2024.
3. The llama 3 herd of models / A. Grattafiori [et al.] // arXiv preprint arXiv:2407.21783. – 2024.
4. Large Language Diffusion Models / S. Nie [et al.] // arXiv preprint arXiv:2502.09992. – 2025.
5. Qlora: Efficient finetuning of quantized llms / T. Dettmers [et al.] // Advances in neural information processing systems. – 2023. – Vol. 36. – P. 10088-10115.

СЕКЦИЯ 3
«ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА»

УДК 511.75:517.13

КОНЦЕПЦИЯ СЧАСТЛИВЫХ ЧИСЕЛ КАК ОБЪЕКТ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Аврусевич В.В, Мазалевич П.В., студенты гр.451003

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Баркова Е.А. – канд. физ.-мат. наук, доцент

Аннотация. В работе исследуются счастливые числа – натуральные числа, сумма квадратов цифр которых в итоге даёт 1. Разработан алгоритм их поиска и программное средство для анализа больших диапазонов (до 289 млн за 86 мин). Предложен метод шифрования данных на основе матриц из счастливых чисел, включающий кодирование, умножение на матрицу и обратное преобразование. Показана эффективность метода на примерах. Результаты могут применяться в криптографии и генерации псевдослучайных последовательностей.

Ключевые слова. Счастливые числа, несчастливые числа, алгоритм, шифрование данных, таблица ASCII, матричное преобразование, генерация случайных чисел.

Что такое счастливое число? Может быть, цифра 7? Исходя из поверий – да, однако в своей научной работе мы рассмотрим этот вопрос с другой стороны.

В математике счастливое число – это любое положительное целое число, сумма квадратов цифр которого в конечном счёте приводит к 1. Но если есть счастливые числа, то вероятно будут и несчастливые. Несчастливое число – это также любое положительное целое число, за исключением того, что при сложении квадратов его цифр, 1 никогда не получится.

Эта тема заинтересовала нас, так как такие числа могут использоваться для генерации случайных чисел и шифрования данных, что широко используется в IT-сфере.

Сперва определим, как же всё-таки находить такие числа. Рассмотрим ранее упоминавшееся число 7. Обозначим за S(7) сумму квадратов цифр выбранного числа.

На первом шаге получим, что

$S(7) = 7^2 = 49$

Повторим действия:

$S(49) = 4^2 + 9^2 = 16 + 81 = 97$

$S(97) = 9^2 + 7^2 = 81 + 49 = 130$

$S(130) = 1^2 + 3^2 + 0^2 = 1 + 9 + 0 = 10$

$S(10) = 1^2 + 0^2 = 1 + 0 = 1$

На 5 шаге сумма стала равна 1, что и подтверждает то, что число 7 – счастливое. Что насчёт следующего счастливого числа?

Проверим тоже самое для 8:

$S(8) = 8^2 = 64$

$S(64) = 6^2 + 4^2 = 36 + 16 = 52$

$S(52) = 5^2 + 2^2 = 25 + 4 = 29$

$S(29) = 2^2 + 9^2 = 4 + 81 = 85$

$S(85) = 8^2 + 5^2 = 64 + 25 = 89$

$S(89) = 8^2 + 9^2 = 64 + 81 = 145$

$S(145) = 1^2 + 4^2 + 5^2 = 1 + 16 + 25 = 42$

$S(42) = 4^2 + 2^2 = 16 + 4 = 20$

$S(20) = 2^2 + 0^2 = 4 + 0 = 4$

$S(4) = 4^2 = 16$

$S(16) = 1^2 + 6^2 = 1 + 36 = 37$

$S(37) = 3^2 + 7^2 = 9 + 49 = 58$

$S(58) = 5^2 + 8^2 = 25 + 64 = 89$

На 13 шаге получаем тот же результат, что и на 5. Логично, что если снова захотим просуммировать суммы квадратов цифр числа 89, то повторим все вычисления, которые выполняли на 6 и следующих после него шагах. Это и есть цикл, который никогда не приведёт к 1. Следовательно, число 8 – несчастливое.

Определим алгоритм для нахождения счастливых чисел на основе примера:

Пусть n – любое положительное целое число. Тогда, чтобы определить “счастливость” этого числа, возьмём его цифры и просуммируем их квадраты:

$$n = m_1, m_2, \ldots, m_k, \quad (1)$$

где m_i – цифра числа n, k – количество цифр числа n.

$$S(n) = m_1^2 + m_2^2 + \ldots + m_k^2 \quad (2)$$

Если S(n) = 1, тогда число счастливое.
Если S(n) ≠ 1 и уже встречалось на предыдущих шагах, то число несчастливое.
Если S(n) ≠ 1 и ещё не встречалось, то посчитать S(S(n))

В процессе вычислений можно обнаружить некоторые свойства счастливых/несчастливых чисел. Например, заметно, что если проверяемое число счастливое, то числа, полученные при вычислениях суммы цифр на отдельных шагах, также являются счастливыми. Аналогично и с несчастливыми числами: числа, полученные на промежуточных этапах, являются несчастливыми. Можно заметить, что на “счастливость” числа не влияет перестановка его цифр и наличие нулей.

Для того, чтобы упростить поиск счастливых чисел, мы разработали программное средство. Пользователь должен ввести в поле нужный диапазон и прожать кнопку для получения результата. Для расчёта времени поиска мы ввели диапазон от 300 до 290 000 000 и засекли время. Все счастливые числа были найдены спустя 86 минут. Интерфейс программного средства представлен на рисунке 1.

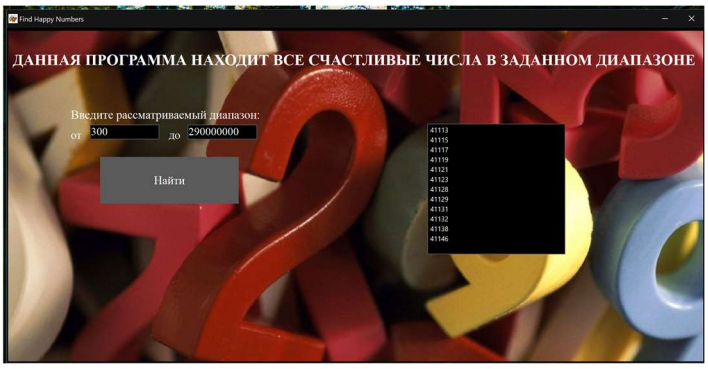


Рисунок 1 – Общий вид интерфейса программного средства

При поиске были выявлены зависимости, представленные на рисунках 2 и 3.

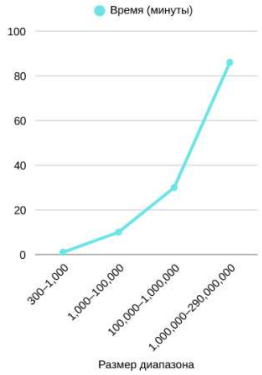


Рисунок 2 – График зависимости диапазона от времени, затрачиваемого на поиск таких чисел

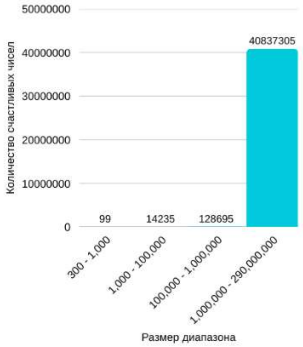


Рисунок 3 – График зависимости диапазона от количества счастливых чисел на нём

Рассмотрим на примере, как можно применить счастливые числа для шифрования данных.

Допустим, мы хотим зашифровать слово “MEOW”. Для этого преобразуем буквы слова в соответствующие коды по таблице ASCII, представленной на рисунке 4.

ASCII Table

Dec	Hex	Oct	Char	Dec	Hex	Oct	Char	Dec	Hex	Oct	Char	Dec	Hex	Oct	Char
0	0	0		32	20	40	[space]	64	40	100	@	96	60	140	`
1	1	1		33	21	41	!	65	41	101	A	97	61	141	a
2	2	2		34	22	42	"	66	42	102	B	98	62	142	b
3	3	3		35	23	43	#	67	43	103	C	99	63	143	c
4	4	4		36	24	44	$	68	44	104	D	100	64	144	d
5	5	5		37	25	45	%	69	45	105	E	101	65	145	e
6	6	6		38	26	46	&	70	46	106	F	102	66	146	f
7	7	7		39	27	47	'	71	47	107	G	103	67	147	g
8	8	10		40	28	50	(	72	48	110	H	104	68	150	h
9	9	11		41	29	51	)	73	49	111	I	105	69	151	i
10	A	12		42	2A	52	*	74	4A	112	J	106	6A	152	j
11	B	13		43	2B	53	+	75	4B	113	K	107	6B	153	k
12	C	14		44	2C	54	,	76	4C	114	L	108	6C	154	l
13	D	15		45	2D	55	-	77	4D	115	M	109	6D	155	m
14	E	16		46	2E	56	.	78	4E	116	N	110	6E	156	n
15	F	17		47	2F	57	/	79	4F	117	O	111	6F	157	o
16	10	20		48	30	60	0	80	50	120	P	112	70	160	p
17	11	21		49	31	61	1	81	51	121	Q	113	71	161	q
18	12	22		50	32	62	2	82	52	122	R	114	72	162	r
19	13	23		51	33	63	3	83	53	123	S	115	73	163	s
20	14	24		52	34	64	4	84	54	124	T	116	74	164	t
21	15	25		53	35	65	5	85	55	125	U	117	75	165	u
22	16	26		54	36	66	6	86	56	126	V	118	76	166	v
23	17	27		55	37	67	7	87	57	127	W	119	77	167	w
24	18	30		56	38	70	8	88	58	130	X	120	78	170	x
25	19	31		57	39	71	9	89	59	131	Y	121	79	171	y
26	1A	32		58	3A	72	:	90	5A	132	Z	122	7A	172	z
27	1B	33		59	3B	73	;	91	5B	133	[	123	7B	173	{
28	1C	34		60	3C	74	<	92	5C	134	\	124	7C	174	|
29	1D	35		61	3D	75	=	93	5D	135	]	125	7D	175	}
30	1E	36		62	3E	76	>	94	5E	136	^	126	7E	176	~
31	1F	37		63	3F	77	?	95	5F	137	_	127	7F	177	

Рисунок 4 – Таблица ASCII

M – 77, E – 69, O – 79, W – 87. Обозначим полученные коды за элементы вектора-строки: V = [77, 69, 79, 87]. Выпишем квадратную матрицу из счастливых чисел, размера n, где n – длина слова, а именно: M = $\begin{pmatrix} 1 & 3 & 7 & 10 \\ 3 & 7 & 10 & 13 \\ 7 & 10 & 13 & 19 \\ 10 & 13 & 19 & 23 \end{pmatrix}$. Так как размер вектора-строки 1 × 4 и размер матрицы 4 × 4 (количество столбцов вектора совпадает с количеством строк в матрице), перемножим вектор на матрицу и получим новый вектор C:

$$C = V \times M = [77, 69, 79, 87] \times \begin{pmatrix} 1 & 3 & 7 & 10 \\ 3 & 7 & 10 & 13 \\ 7 & 10 & 13 & 19 \\ 10 & 13 & 19 & 23 \end{pmatrix} = [1707, 2635, 3909, 5169] \quad (3)$$

Разобьём каждый полученный элемент по цифрам: 1707 – 1, 7, 0 и 7; 2635 – 2, 6, 3 и 5; 3909 – 3, 9, 0 и 9; 5169 – 5, 1, 6 и 9. Если бы вектор содержал элементы с нечётным количеством цифр, мы бы приписали 0 спереди. К каждому числу прибавим 33 (т.к. 1 – 32 символы таблицы ASCII непечатные), сочтём их за коды и преобразуем в символы по этой же таблице:

1 + 33 = 34 (код символа “”)
7 + 33 = 40 (код символа ‘(’)
0 + 33 = 33 (код символа ‘!’)
Для 7 уже считали, получился символ ‘(’
2 + 33 = 35 (код символа ‘#’)
6 + 33 = 39 (код символа “’)
3 + 33 = 36 (код символа ‘$’)
5 + 33 = 38 (код символа ‘&’)
Для 3 уже считали, получился символ ‘$’
9 + 33 = 42 (код символа ‘*’)
Для 0 уже считали, получился символ ‘!’
Для 9 уже считали, получился символ ‘*’
Для 5 уже считали, получился символ ‘&’
Для 1 уже считали, получился символ “”
Для 6 уже считали, получился символ “’
Для 9 уже считали, получился символ ‘*’

Таким образом, мы зашифровали слово “MEOW” в ”(!(#’$&$*!*&”’*. Как теперь расшифровать, например, такой набор символов: “&*!#&#’$(&%&!””? Найдём код каждого символа по вышеупомянутой таблице: “ – 34, & – 38, * – 42, ! – 33, # – 35, ‘ – 39, $ – 36, (– 40, % – 37. Отнимем от каждого числа 33 :

34 – 33 = 1
38 – 33 = 5
42 – 33 = 9
33 – 33 = 0

35 – 33 = 2
39 – 33 = 6
36 – 33 = 3
40 – 33 = 7
37 – 33 = 4

Тогда получим 1590252637545011. Логично, что число символов в уже зашифрованной последовательности всегда будет чётным, поэтому разобьём результат по 4 цифры:
1590 2526 3754 5011. Пусть эти числа будут элементами вектора V’ = [1590, 2526, 3754, 5011]. Тогда для того, чтобы расшифровать последовательность, найдём обратную матрицу к матрице M и умножим вектор на неё (т.к. число элементов вектора равно размерности матрицы M из счастливых чисел и матрица M – квадратная, то можем взять её для примера).

Найдём определитель матрицы M:

$\det M = \begin{vmatrix} 1 & 3 & 7 & 10 \\ 3 & 7 & 10 & 13 \\ 7 & 10 & 13 & 19 \\ 10 & 13 & 19 & 23 \end{vmatrix}$. С помощью элементарных преобразований приводим матрицу к верхнетреугольному виду и с лёгкостью находим её определитель:

$\begin{vmatrix} 1 & 3 & 7 & 10 \\ 0 & -2 & -11 & 17 \\ 0 & 0 & 24,5 & 42,5 \\ 0 & 0 & 0 & -6\frac{11}{49} \end{vmatrix}$ = 1 * (-2) * 24,5 * (-$6\frac{11}{49}$) = 305 ≠ 0. Определитель не равен нулю,

следовательно, обратная матрица существует. Для вычисления обратной матрицы припишем к исходной справа единичную:. Применим элементарные преобразования над строками, чтобы привести левую часть матрицы к единичной: $\left(\begin{array}{cccc|cccc} 1 & 3 & 7 & 10 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 7 & 10 & 13 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 7 & 10 & 13 & 19 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 10 & 13 & 19 & 23 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array}\right)$. Правая часть получившейся матрицы и есть обратная к M матрице матрица M’. Перемножим вектор и обратную матрицу:

$$V = V' \times M' = [1590, 2526, 3754, 5011] \times \begin{pmatrix} \frac{9}{305} & -\frac{143}{305} & \frac{7}{61} & \frac{48}{305} \\ -\frac{143}{305} & \frac{171}{305} & \frac{4}{61} & -\frac{51}{305} \\ \frac{7}{61} & \frac{4}{61} & -\frac{27}{61} & \frac{17}{61} \\ \frac{48}{305} & -\frac{51}{305} & \frac{17}{61} & -\frac{49}{305} \end{pmatrix} = [82, 79, 83, 69] \quad (4)$$

По таблице ASCII: 82 – R, 79 – O, 83 – S, 69 – E.

В итоге последовательность символов “&*!#&#’$(&%&!”” оказалась словом “ROSE”. Наш метод наглядно показывает, что данные можно шифровать с помощью счастливых чисел.

В ходе выполненного исследования была тщательно изучена концепция счастливых чисел как объекта математического анализа и их свойства. Разработанный алгоритм стал основой для реализации программного средства. Это средство позволило автоматизировать процесс поиска счастливых чисел в широких числовых диапазонах. Также был создан метод шифрования данных с помощью счастливых чисел. Он доказал свою эффективность при попытке расшифровать данные.

Список использованных источников:

1. Guy, R. K. Happy Numbers: A Mathematical Exploration / R. K. Guy // Unsolved Problems in Number Theory / ed. R. K. Guy. – 3rd ed. – New York: Springer, 2004. – P. 103 – 114.

2. Grundman, H. G. Iterated Sums of Squares of Digits / H. G. Grundman, E. A. Teeple // Fibonacci Quarterly. – 2002. – Vol. 3. – P. 251 – 256.

UDC 511.75:517.13

THE CONCEPT OF LUCKY NUMBERS AS AN OBJECT OF MATHEMATICAL ANALYSIS

Aurusevich V.V., Mazalevich P.V

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Barkova E.A. – PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor

Annotation. The study investigates happy numbers - natural numbers whose sum of squared digits eventually equals 1. An algorithm for their detection was developed along with software capable of analyzing large ranges (up to 290 million in 86 minutes). A data encryption method based on matrices of happy numbers was proposed, involving encoding, matrix multiplication, and inverse transformation. The method's effectiveness was demonstrated through examples. The results may find applications in cryptography and pseudorandom number generation.

Keywords. Happy numbers, unhappy numbers, algorithm, data encryption, ASCII table, matrix transformation, random number generation.

004.85:004.032.26

ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В НЕЙРОНАУКЕ

Иосько М.А. студент гр.428504, Горбель А.А. студент гр.428503

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники г. Минск, Республика Беларусь

Цегельник В.В. – доктор физ.-мат. наук, профессор каф. ВМ

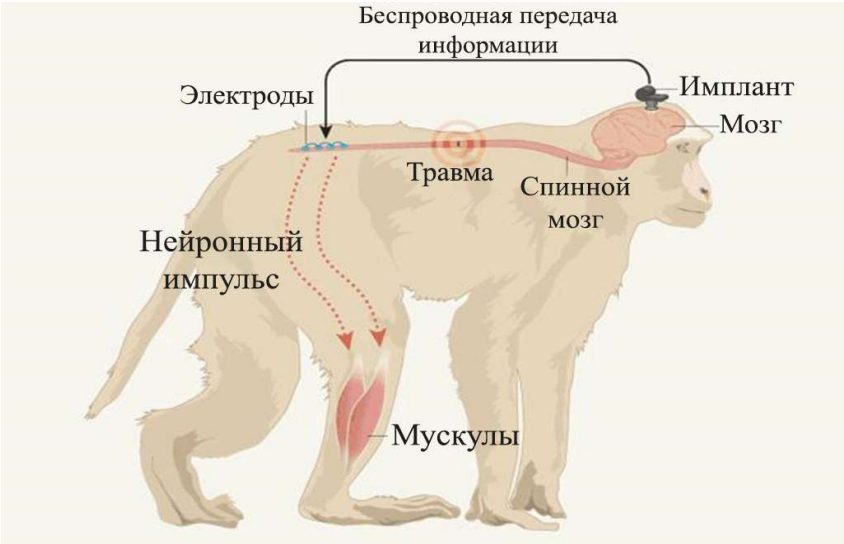
Аннотация. Изучены современные методы машинного обучения для анализа данных мозга. Разработан концепт модели, позволяющий приматам с травмой спинного мозга восстановить подвижность конечностей. Подробно описаны этапы работы системы: сбор данных, предобработка, обучение модели и оценка её эффективности.

Современная нейронаука переживает эпоху цифровой трансформации благодаря машинному обучению. Такие методы помогают анализировать большие объемы данных, получаемых с помощью функциональной магнитно-резонансной томографии, позитронно-эмиссионной томографии и электроэнцефалографии. Например, машинное обучение выявляет паттерны активности мозга, связанные с болезнью Паркинсона, что невозможно сделать традиционными статистическими методами. Это позволяет раньше диагностировать заболевания и разрабатывать персонализированные методы лечения. Глубокие нейронные сети также играют ключевую роль в создании нейропротезов, адаптированных к индивидуальным особенностям пациентов [1].

На сегодняшний день были изобретены следующие типы нейросетей, такие как сверточные нейронные сети, рекуррентные нейронные сети, сети долгой краткосрочной памяти и автоэнкодеры. Каждая из этих архитектур обладает уникальными свойствами и применяется для решения различных задач в области нейронауки.

В эксперименте учёных из Швейцарской вышей технической школы использовали гибридную систему «мозг-машина», для восстановления двигательных функций у приматов с повреждением спинного мозга, как показано на рисунке 1. Имплантированные электроды регистрировали нейронную активность премоторной коры, связанную с планированием движений, в режиме реального времени. Сигналы обрабатывались многослойным перцептроном, который преобразовывал их в команды для электростимуляции спинного мозга. Это позволило обойти поврежденные нервные пути, активируя двигательные нейроны ниже уровня травмы. В результате 70% испытуемых восстановили способность к ходьбе с точностью управления до 92%. Дополнительные исследования показали, что долговременное применение нейроинтерфейса способствовало восстановлению координации движений и сокращению времени реакции.

Рисунок 1 – Системы «мозг-машина»



Анализ архитектуры моделей машинного обучения требует рассмотрения ключевых компонентов каждой подобной системы: входные данные, веса и смещения (константы полученные в ходе обучения), функции активации, выходные данные. В дальнейшем эти компоненты

взаимодействуют определённым образом, что позволяет трансформировать нейронные импульсы в управляющие сигналы для парализованных конечностей.

На первом этапе система «мозг-машина» фиксирует сигналы мозга обезьяны, во время ходьбы по беговой дорожке, как показано на рисунке 2. Регистрация осуществляется с помощью 96 электродов, установленных на её голове. Для мотивации используются пищевые стимулы или интерактивные объекты, побуждающие животное к активности.

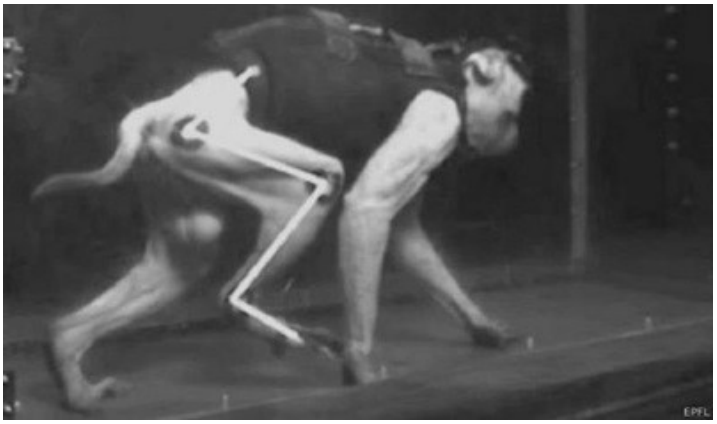


Рисунок 2 – Обезьяна, идущая по беговой дорожке

Далее, на втором этапе собранная информация подвергается обработке для устранения помех и приведения сигналов к единому формату, так как нейронные импульсы содержат шумовые искажения, вызванные внешними факторами. Посторонние колебания затрудняют анализ, поэтому применяется полосовой фильтр, пропускающий только сигналы в заданном диапазоне частот и блокирующий остальные. Например, фильтрация в пределах 0,5–40 Гц позволяет выделить компоненты, характерные для мозговой активности. Дополнительно проводится нормализация, так как различия в амплитудах усложняют обучение модели. Приведение данных к единому масштабу делает их сопоставимыми, а один из методов нормализации — масштабирование значений в интервале [0, 1] по методу мин-макс масштабирование:

$$x' = \frac{x - min(x)}{max(x) - min\,(x)}, \quad (1)$$

где x — исходные данные; $min(x) и max(x)$ — минимальное и максимальное значения частот в рассматриваемом наборе данных.

На следующем этапе собранные данные распределяются на обучающую, валидационную и тестовую выборки для оценки качества модели и предотвращения её переобучения. Обучающая выборка применяется для обучения модели, помогая ей установить связи между сигналами мозга, движениями и сжатием мышц, а также выявлять паттерны и зависимости, настраивая параметры для минимизации ошибки предсказания. Валидационная выборка используется для контроля качества модели на каждом этапе обучения, позволяя корректировать параметры и предотвращать переобучение, при котором модель слишком сильно адаптируется к обучающим данным, теряя способность работать с новыми. Тестовая выборка предназначена для финальной оценки модели, так как данные из этой выборки не использовались ни в процессе обучения, ни в процессе валидации, что позволяет объективно оценить её производительность.

После того как данные распределены, выделяют этап, в котором для решения задачи применяется многослойный перцептрон, состоящий из нескольких слоев нейронов, каждый из которых связан с нейронами предыдущего и следующего слоя. Входной слой принимает нервные импульсы, в скрытых слоях происходят нелинейные преобразования, а выходной слой генерирует команды, которые передаются на электроды. Нелинейные преобразования на скрытых слоях вычисляются по следующей формуле:

$$z_i = \sum_{j=0}^{n}(w_{ij} \cdot x_j) + b_i, \quad (2)$$

где z_i — значение каждого нейрона перед применением функции активации; x_j — значение нейрона на предыдущем слое; w_{ij} — веса, соответствующие каждому входному x_j; b_i — смещение нейрона на текучем слое.

После этого в каждом нейроне выполняются нелинейные преобразования с использованием функций активации, например, *ReLU* (*Rectified Linear Unit* или выпрямленный линейный блок), которая определяет выходное значение следующим образом:

$$ReLU(x) = max(0, x), \tag{3}$$

где $max(0, x)$ — функция, которая выбирает максимальное число из нуля и значения нейрона x.

Данная функция (*ReLU*) игнорирует отрицательные значения, что снижает лишние вычисления и помогает модели работать точнее.

Этот процесс повторяется для каждого скрытого слоя нейронной сети, пока не будет достигнут выходной слой, который генерирует итоговое предсказание, в данном случае — нейронные импульсы для конечности с частичной дисфункцией.

Ключевым этапом в обучении нейронной сети является обратное распространение ошибки — это процесс обучения нейросети, позволяющий корректировать её параметры (веса и смещения) для минимизации расхождений между предсказаниями и реальными данными. На примере задачи управления парализованными конечностями этот этап можно представить как систему «обратной связи», где сеть учится на своих ошибках, постепенно улучшая точность преобразования нейронных сигналов в двигательные команды. Для нейроинтерфейсов, где критична точность декодирования сигналов, среднеквадратичная ошибка является оптимизационным ориентиром: чем меньше значение функции потерь *L*, тем точнее модель воспроизводит целевые движения. В основе процесса лежит функция, которая количественно оценивает отклонения предсказанных значений ($\hat{y}$) от истинных (y):

$$L = \frac{1}{N}\sum_{i=0}^{N}(y_i - \hat{y}_i)^2, \tag{4}$$

где *L* — среднеквадратичная ошибка; *N* – количество нейронов на предыдущем уровне.

Градиенты функции потерь по параметрам сети (w_{ij}, b_i) определяют, как сильно каждый вес или смещение влияют на итоговую ошибку. Согласно правилу цепочки, градиенты вычисляются в обратном порядке — от выходного слоя к входному:

$$\nabla L = \left(\frac{\partial L}{\partial w_1}, \frac{\partial L}{\partial w_2}, \dots, \frac{\partial L}{\partial w_n}, \frac{\partial L}{\partial b_1}, \frac{\partial L}{\partial b_2}, \dots, \frac{\partial L}{\partial b_m}\right), \tag{5}$$

где ∇L – градиент функции потерь; $\frac{\partial L}{\partial w_n}$ —частные производные *L* по весам w_n; *n* – число весов; $\frac{\partial L}{\partial b_m}$ — частные производные *L* по смещениям b_j; *m* – число смещений.

Найденные градиенты используются для корректировки весов и смещений. Обновление происходит по следующей формуле:

$$\theta_{t+1} = \theta_t - \eta \cdot \nabla L, \tag{6}$$

где $\boldsymbol{\theta}$ — вектор параметров; η (скорость обучения) — гиперпараметр.

Гиперпараментр регулирующий «шаг» корректировки. Для задач нейроинтерфейсов типичные значения η лежат в диапазоне 0.001–0.1, что обеспечивает баланс между скоростью обучения и стабильностью.

После обучения модель оценивается на тестовой выборке, чтобы проверить, как хорошо она справляется с задачами. Тестовая выборка состоит из данных, которые не использовались в процессе обучения и валидации, что позволяет объективно измерить способность модели обрабатывать новые, незнакомые данные. Для оценки качества работы модели применяется функция потерь, которая вычисляет разницу между предсказанными результатами и реальными значениями.

Применение нейросетевых методов в трансляции нейросигналов в управляющие команды демонстрирует значительное превосходство по сравнению с традиционными линейными моделями. Эти технологии обеспечивают не только анализ многомерных данных, но и адаптацию к индивидуальной нейронной активности, что критично для персонализированной медицины. Модели машинного обучения характеризуются высокой устойчивостью к артефактам и шумам, что значительно повышает надежность обработки сигналов. Важным преимуществом является также возможность работы в реальном времени с минимальной задержкой обработки, что особенно актуально для управления нейропротезами и взаимодействия с интерфейсами мозг-компьютер [2].

Перспективные направления исследований включают разработку энергоэффективных нейросетевых моделей для имплантируемых устройств, интеграцию гибридных алгоритмов, сочетающих статистические и глубокие методы, а также изучение механизмов нейропластичности в

контексте интерфейсов мозг-компьютер. В конечном итоге, это может привести к созданию автономных адаптивных систем для пациентов с параличом, что потенциально позволит преодолеть последствия травм спинного мозга и восстановить полноценную жизнь.

Список использованных источников:

[1] Capogrosso, m., milekovic, t., borton, d. *Et al.* A brain–spine interface alleviating gait deficits after spinal cord injury in primates. *Nature* 539, 284–288 (2016).

[2] *Lorach h, galvez a, spagnolo v, martel f, karakas s, intering n. Walking naturally after spinal cord injury using a brain-spine interface. Nature 2023, 618: 126–133.*

004.85:004.032.26

APPLICATION OF MACHINE LEARNING IN NEUROSCIENCE

Iosko M.A. student gr.428504, Gorbel A.A. student gr.428503

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics,
Minsk, Republic of Belarus

Tsegelnik V.V. – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Department of HM

Annotation. Modern machine learning methods for analyzing brain data have been studied. A model concept has been developed that allows primates with spinal cord injury to restore limb mobility. The stages of the system's operation are described in detail: data collection, preprocessing, model training and evaluation of its effectiveness.

УДК 519.168:519.714.7

ЗАДАЧА КОММИВОЯЖЕРА

Харкевич М.А, студент гр.451003, Заривняк В.С, студент гр.451004

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники[1]
г. Минск, Республика Беларусь

Баркова Е.А. – канд. физ.-мат. наук

Аннотация. Главной целью данной научной работы является анализ существующих методов решения задачи коммивояжера и их оптимизация. В данной работе был проанализированы конструктивные алгоритмы “Ближайший сосед”, алгоритм с точностью 2, алгоритм Кристофидеса-Сердюкова и генетические алгоритмы. Был разработан свой алгоритм, объединяющий конструктивные и генетичекие методы решения.

Ключевые слова. Задача коммивояжера, маршрут, остовное дерево, эйлеров цикл, гамильтонов цикл, конструктивный алгоритм, генетический алгоритм, популяция, особи, хромосома, скрещивание, приспособленность, оптимум, селекция, точность, матрица расстояний, ближайший сосед, Краскал, паросочетание, мутация, комбинированный метод, города, применение.

Жизнь – непредсказуемый поток времени и событий: кто-то идет в школу по знакомому с детства пути, кто-то теряется в переходе между линиями метро, кто-то в пробке и пытается сократить свой путь, чтобы успеть на работу. Мы стремимся найти короткий и удобный маршрут, а для логистов, курьеров, транспортных компаний – это ключевая задача работы. Им приходится прокладывать выгодные маршруты, чтобы сэкономить время, топливо и ресурсы, обеспечивая эффективность перевозок и сервиса.

Задача коммивояжера – одна из фундаментальных проблем дискретной математики, суть которой – найти кратчайший маршрут, проходящий лишь один раз через все заданные точки с возвратом в исходную. Данный вид принадлежит к классу NP-сложных, что означает: точное решение полным перебором выполняется для небольшого числа городов, поскольку с увеличением количества точек сложность задачи возрастает намного быстрее.

Для решения задачи коммивояжера существует много видов алгоритмов. Рассмотрим несколько вариантов, их суть и как составить маршрут, используя обозначенный способ. Алгоритмы, формирующие решение последовательно, называются конструктивными. Примером такого подхода является алгоритм «Ближайший сосед». Рассмотрим 4 города: A, B, C, D и их матрицу расстояний bij (рисунок 1).

$$\begin{pmatrix} 0 & 2 & 4 & 3 \\ 2 & 0 & 1 & 5 \\ 4 & 1 & 0 & 2 \\ 3 & 5 & 2 & 0 \end{pmatrix}$$

Рисунок 6 – Матрица расстояний

Матрица b_{ij} должна удовлетворять неравенству треугольника: $b_{ij} \leq b_{ik} + b_{kj}$ для исключения «лишних» повторных вершин. Выбирем произвольный стартовый город A. Дальше ищем ближайший к нему не посещенный город и добавляем к предыдущим, чтобы образовать итоговый путь, то есть из A–B–C–D–A (рисунок 2). Тогда оптимальный маршрут Opt будет равен 10 (2 + 1 + 2 + 5 = 10). У данного алгоритма нет гарантированной заданной точности, оно может быть максимально большим, так как не все маршруты могут быть оптимальными. Точность алгоритма – отношение длины решения алгоритма к оптимальной длине Opt.

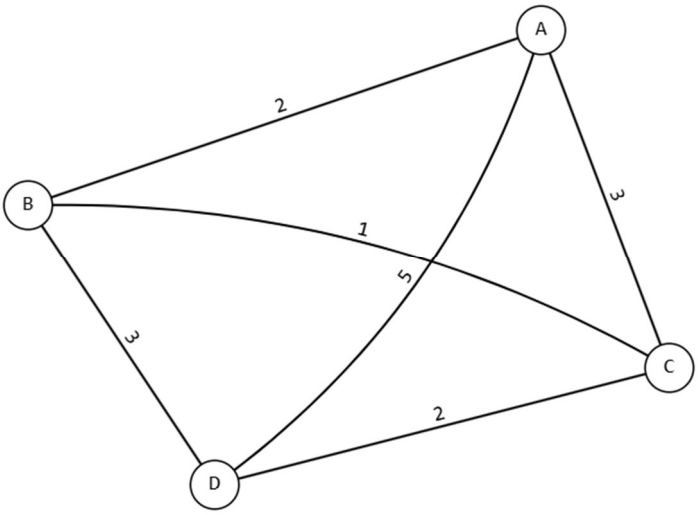


Рисунок *7* – Алгоритм «Ближайший сосед»

Рассмотрим алгоритм с гарантированной точностью r = 2. Пусть даны 4 вершины A, B, C, D и граф (рисунок 3).

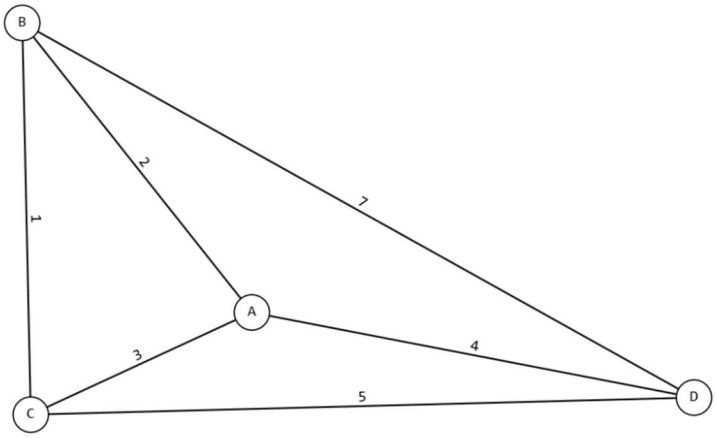


Рисунок 3 – Исходный граф для точности r=2

Пользуясь алгоритмом Краскала, построим для минимального веса остовного дерева полный взвешенный граф:

1. Отсортируем все ребра по весу
2. Добавляем их в дерево, связывая их, избегая циклов.

Путём дублирования каждого ребра получаем вершины с четными степенями: A–B–B–C–C–D–D–C–B–A. Теперь построим эйлеров цикл. Записывая только первые посещения вершин: A–B–C–D–C–B–A. Чтобы преобразовать эйлеров цикл в гамильтонов, выполним следующее: начиная с произвольной вершины, отмечаем посещённые вершины, двигаясь по эйлерову циклу. При встрече помеченной вершины пропускаем её и продолжаем движение до первой непомеченной или до возврата в первую: A–B–C–D–A. Тогда маршрут равен 2+1+5+4=12.

Еще одним примером является алгоритм Кристофидеса-Сердюкова. Ключевое отличие заключается в способе получения эйлерова графа. Возьмем 4 вершины A, B, C, D и расстояния A–B=2, B–C=1, C–D=2, A–D=3. По алгоритму Краскала строим минимальное остовное дерево: A–B–C–D. Выделяем нечетные вершины и составляем паросочетание: A–D, которое будет минимальным и единственным. Объединяем дерево с паросочетанием: A–B–C–D–A. Строим эйлеров и гамильтонов цикл и получаем в итоге маршрут A–B–C–D–A и его длину, равную 8.

А что будет, если скомбинировать несколько алгоритмов? Попробуем использовать не одно минимальное остовное дерево, а два. Пусть граф задан матрицей расстояний (рисунок 4):

0	3	4	2	5
3	0	1	4	3
4	1	0	3	2
2	4	3	0	6
5	3	2	6	0

Рисунок 4 – Матрица расстояний для алгоритма Кристофидеса-Сердюкова

По алгоритму Краскала находим два минимальных остовных дерева, причем для второго зададим ограничение длина ребра ≤ Opt/3. Первое дерево T1 имеет такие ветви, как B–C, A–D, C–E, A–B, второе T2 , исходя из ограничения, тоже содержит ветви B–C, A–D, C–E, A–B. Вес деревьев равен 8. Дальше найдем общие ребра для двух деревьев, которые образуют подграф G*: B–C, A–D, C–E, A–B. Выделяем вершины нечетной степени и строим паросочетания, то есть для вершин C, D, E паросочетания: C–D=3, C–E=2, D–E=6. Выбираем минимальное и объединяем с T1 и T2: A–B–C–E–C–B–A–D–A. Преобразуем в гамильтонов цикл: A–B–C–E–B–D–A. Opt из оптимального цикла A–D–C–E–B равно 13. Значит, длина равна 14, а r=14/13=1.08.

Кроме конструктивных алгоритмов существуют также методы, основанные на имитации естественного отбора, а также наследования. Генетический алгоритм – метод, вдохновленный эволюцией в природе. Основой данного алгоритма выступают такие понятия как популяция и особи. Алгоритм работает не с одним решением, а сразу с группой (популяцией). Каждое решение (особь) – это последовательность городов для коммивояжёра. Чем лучше решение – тем выше его "приспособленность".

Понятия, используемые в данном алгоритме:

Хромосома – последовательность вершин, которые образуют маршрут.

Скрещивание – операция, при которой две хромосомыобмениваются своими частями.

Мутация – случайное изменение одной или нескольких позиций в хромосоме.

Генетический алгоритм начинается с генерации начальной популяции. Создаем первый маршрут в популяции: вставляем начальную вершину и добавляем следующие в порядке возрастания. Дальше генерируем популяцию, переставляя гены случайным образом, пока не достигнем нужного размера. Для каждой особи вычисляем приспособленность, то есть длину маршрута. Далее выбираем два решения, родители S1 и S2, используя вероятностный оператор. По этим решениям оператор скрещивания строит новое решение S´, которое подвергается мутациям. После этого проверяем корректность решения. Далее в отсортированную по возрастанию длины маршрута популяцию вставляем выживших потомков. Так как размер популяции обычно фиксированный, то оставляем N лучших. Жизненный цикл популяции длится пока не сменят друг друга заданное число поколений (рисунок 5):



Рисунок 5 – Генетический алгоритм

Можно сказать, что производительность генетического алгоритма зависит от качества начальной популяции. И мы подумали, что можно использовать конструктивные алгоритмы для оптимизации генетического, а именно использовать для создания начальной популяции. Также мы заметили, что если использовать один метод конструктивного алгоритма, то существует риск снижения разнообразия, то есть алгоритм может застрять в локальном оптимуме. Поэтому, мы предлагаем использовать несколько разных конструктивных алгоритмов или комбинировать их со случайной генерацией, чтобы сохранить разнообразие в начальной популяции.

Рассмотрим на примере. Пусть дана матрица расстояний для 5 городов (рисунок 6):

0	10	15	20	25
10	0	35	25	30
15	35	0	30	20
20	25	30	0	15
25	30	20	15	0

Рисунок 6 – Матрица расстояний для 5 городов для комбинированного способа

Всего возможно (5 - 1)! маршрутов, то есть 24. Поэтому максимальный размер популяции − 24 уникальных решения. Используем алгоритм "Ближайший сосед" для создания 6 особей (~25%), алгоритм Кристофидеса-Сердюкова для создания 6 особей (~25%) и случайной генерацией создадим 12 особей (~50%).

Таким образом, начальная популяция будет сформирована следующим образом:

• 6 решений (25%) с помощью алгоритма ближайшего соседа, который быстро строит разумные, но не обязательно оптимальные маршруты;

• 6 решений (25%) с использованием алгоритма Кристофидеса-Сердюкова, который строит приближённое решение задачи коммивояжёра с гарантированным качеством (не более 1.5 от оптимума для метрических пространств);

• 12 решений (50%) получены случайной генерацией, что вносит необходимое разнообразие.

Далее генетический алгоритм будет выполняться в стандартном виде:

1. Оценка приспособленности каждой особи (длина маршрута).
2. Селекция: отбор лучших решений на основе приспособленности.
3. Кроссовер для генерации потомков.
4. Мутация для поддержания разнообразия.
5. Замена: формирование новой популяции (например, замена худших решений или частичная замена).

Для подтверждения эффективности данного алгоритма мы написали программу на языке программирования Java, которая сравнивает скорости выполнения классического генетического алгоритма и ГА + конструктивные алгоритмы.

Для матрицы расстояний для 5 городов (рисунок 6) результат следующий (рисунок 7):

```
1. Running Standard GA...

2. Running Hybrid GA...

=== STANDARD GA RESULTS ===
Best route: [4, 3, 1, 0, 2]
Route length: 85
Execution time: 8 ms
========================

=== HYBRID GA RESULTS ===
Best route: [0, 1, 3, 4, 2]
Route length: 85
Execution time: 3 ms
========================
```

Рисунок 7 – Результат комбинированного алгоритма для 5 городов

Это подтверждает эффективность нашей вариации алгоритма для 5 городов. Для 100 городов результат следующий (рисунок 8):

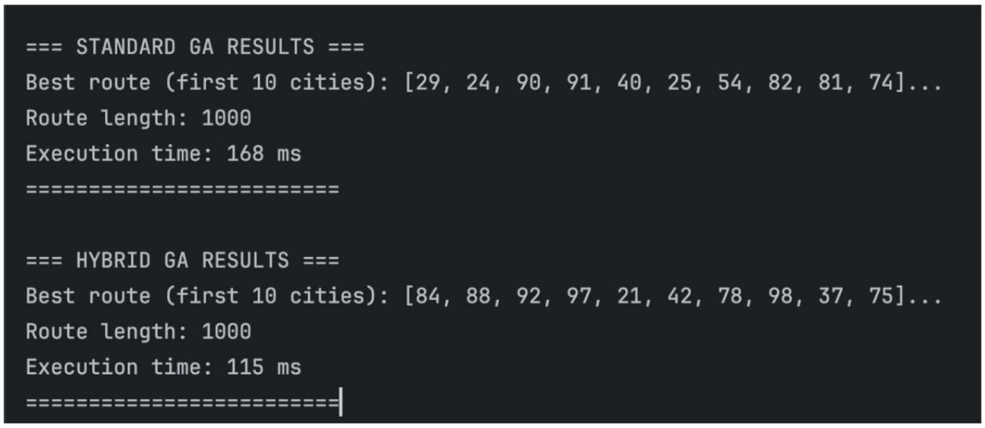


Рисунок 8 – Результат комбинированного алгоритма для 100 городов

Что также подтверждает эффективность нашей вариации алгоритма для большего количества городов.

В ходе выполненного исследования была тщательна изучена задача коммивояжера, рассмотрены основные подходы к её решению такие, как конструктивные алгоритмы, методы на основе остовных деревьев и эйлеровых циклов, генетические алгоритмы. Наибольший практический интерес представляет предложенный нами комбинированный метод, в котором начальная популяция формируется за счёт решений, полученных алгоритмами "Ближайшего соседа" и Кристофидеса-Сердюкова, дополненных случайной генерацией. Такой метод обеспечивает баланс между скоростью вычислений и точностью, предотвращая застревание в локальных оптимумах, а экспериментальная проверка подтвердила высокую эффективность как для небольших (5 городов), так и для масштабных (100 городов) задач, показав его существенные преимущества перед традиционными реализациями генетического алгоритма. Полученные результаты убедительно свидетельствуют, что выбор конкретного алгоритма должен осуществляться с учетом требований к точности и быстродействию решения, причем разработанный комбинированный метод предлагает оптимальный баланс этих характеристик для широкого круга практических применений.

Список использованных источников:

1. Chartrand, G. Graphs & Digraphs / G. Chartrand, L. Lesniak, P. Zhang. – 5th Ed. – Boca Raton : Crc Press, 2011. – 586 P.

2. Christofides, N. Worst-Case Analysis Of A New Heuristic For The Traveling Salesman Problem : Technical Report / N. Christofides. – Pittsburgh : Carnegie Mellon University, 1976. – 32 P. – (Technical Report; № 388).

3. Cook, W. J. In Pursuit Of The Traveling Salesman: Mathematics At The Limit Of Computation / W. J. Cook. – Princeton : Princeton University Press, 2012. – 228 P.

UDC 519.168:519.714.7

THE TRAVELING SALESMAN'S PROBLEM

Kharkevich M.A, Zarivniak V.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics[1], Minsk, Republic of Belarus

Barkova E.A. – PhD in Physics and Mathematics

Annotation. The main objective of this scientific work is to analyze existing methods for solving the traveling salesman problem and optimize them. In this work, constructive algorithms “Nearest neighbor”, an algorithm with accuracy of 2, the Christofides-Serdyukov algorithm and genetic algorithms were analyzed. An algorithm was developed that combines constructive and genetic methods of solution.

Keywords. Traveling salesman problem, route, spanning tree, Euler cycle, Hamiltonian cycle, constructive algorithm, genetic algorithm, population, individuals, chromosome, crossover, fitness, optimum, selection, accuracy, distance matrix, nearest neighbor, Kruskal, matching, mutation, combined method, cities, application.

УДК 004.928-042.4

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИГРОВОЙ СИТУАЦИИ В ВИДЕОИГРЕ RISK OF RAIN 2

Анисенко Е.В. Сидоров А.А., студенты гр.424402

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Примичева З.Н. – канд. физ.-мат. наук

Аннотация. В игре Risk Of Rain 2 механики тесно переплетаются между собой, что сложным и иногда неочевидным образом влияет на игрока и другие сущности. Разработана программа, позволяющая игрокам рассчитывать значение урона при определённом количестве разных предметов и с учётом этой информации выработать оптимальную стратегию.

Ключевые слова. Моделирование игровой ситуации, формула урона, сложность игры, оптимизационная стратегия, Excel-моделирование, практическое применение.

Risk of Rain 2 – roguelike-шутер от третьего лица, разработанный Hopoo Games и изданный Gearbox Publishing. Игроки управляют выжившим, который застрял на чужой планете. Чтобы выжить, они перемещаются по различным локациям, уничтожая монстров и открывая сундуки, чтобы собрать предметы, повышающие их способности. Ключевой особенностью игры, выделяющей её на фоне соседей по жанру, является сложность, которая растёт не только по мере прохождения этапов, но и непосредственно с течением времени.

Разберём ситуацию на примере одной из выживших Охотница (Huntress) и ее основной способности Шквал (Flurry). Способность Шквал раз в 1,3 сек. совершает залп из 3 снарядов, наносящих 3x100% урона. В случае критической атаки выпускает 6 снарядов вместо 3, каждый из которых наносит критический урон (200% от обычного). Шквал имеет коэффициент срабатывания (proc coefficient) 0,7 [1].

Пусть ^{lv} — уровень персонажа, тогда формула урона в зависимости от уровня выглядит следующим образом:

$$bdmg = 12 + 2.4 * (lv - 1),$$

где базовый урон составляет 12 единиц; прирост урона за уровень – 2,4.

Найдем теперь шанс критического удара. Поскольку он изначально составляет 1%, то шанс может быть увеличен на 10% (+10% за шт.) предметом Очки Линзодела (Lens-Maker's Glasses).

Предмет Инстинкт Хищника (Predatory Instincts), даёт +5% к шансу критического удара, а также увеличивает скорость атаки на 12% в случае срабатывания критического удара вплоть до 36%. Каждый последующий Инстинкт Хищника не даёт дополнительного шанса критического удара, но увеличивает потолок прироста скорости атаки на 24%. Таким образом, формула шанса критического удара будет иметь следующий вид:

$$crt = 0.01 + \frac{gl}{10} + 0.05 * bpi$$

где gl – количество Очков Линзодела; bpi – наличие Инстинкта Хищника (0 либо 1).

Предмет Шприц Солдата (Soldier's Syringe) увеличивает скорость атаки на 15% (+15% за шт.). Рассчитаем скорость его атаки:

$$as = 0.769 * (1 + 0.15 * ss + bpi * \big(0.36 + 0.24 * (pi - 1)\big) * crt,$$

где 0.769 – базовая скорость атаки; ss – количество Шприцов Солдата; pi – количество Инстинктов Хищника.

Поэтому можно вычислить количество атак в зависимости от шанса критического удара:

$$na = 3 * (1 + crt).$$

Определим количество атак в одну секунду:

$$nas = na * as.$$

Зная количество атак в секунду и урон в зависимости от уровня, рассчитаем урон в секунду без модификаторов:

$$dps = nas * bdmg * (1 + crt).$$

Далее рассмотрим предметы, которые добавляют модификаторы атаки, увеличивающие урон в секунду.

Предмет Ракета «воздух-земля» Mk. 1 (AtG Missile Mk. 1) имеет 10% вероятности выстрелить ракетой, наносящей 300% (+300% за шт.) урона. Формула увеличения урона в зависимости от количества данного предмета:

$$mkmd = (0.1 * pc) * 300 * mkm/100,$$

где pc – коэффициент срабатывания (равный 0.7); mkm — количетсво Ракета «воздух-земля» Mk. 1.

Предмет Укулеле (Ukulele) содержит 25% вероятности выстрелить цепочкой молний, наносящей 80% урона до 3 (+2 за шт.) целям в радиусе 20 м. (+2 м. за шт.). Формула увеличения урона в зависимости от наличия данного предмета:

$$ud = \left(\frac{(0.25*pc)*80}{100}\right) * bu,$$

где bu – наличие Укулеле (0 либо 1).

Предмет Липкая Бомба (Sticky Bomb) обладает 5% (+5% за шт.) вероятности прикрепить бомбу к врагу, взрыв которой нанесет 180% урона. Формула увеличения урона в зависимости от количества данного предмета:

$$sbd = (0.05 * sb * pc) * 180/100,$$

где sb – количество Липких Бомб.

Предмет Блистающая Махина (Brilliant Behemoth): все ваши атаки заканчиваются взрывом радиусом 4 м (+1,5 м за шт.), дополнительно причиняющим 60% урона находящимся поблизости врагам. Формула увеличения урона в зависимости от наличия данного предмета:

$$bbd = 0.6 * bbb,$$

где bbb – наличие Блистающей Махины.

Предмет Убийственная Справедливость (Shattering Justice): после 5 попаданий по врагу его броня снижается на 60 на 8 (+8 за шт.) сек. Формула расчета изменения урона от количества брони [2]:

$$1 - Armor/(100 + Armor),$$

где $Armor$ – количество брони.

Тогда увеличение урона при наличии Убийственная Справедливости будет иметь следующий вид:

$$sjd = \left(\frac{100}{100-(-60)-1} * (-1)\right) * sjb,$$

где sjb – наличие Убийственной Справедливости.

Также рассмотрим предмет 57-Листный Клевер (57 Leaf Clover): все случайные эффекты получают +1 (+1 за шт.) дополнительный бросок на удачный результат, то есть увеличивает шанс срабатывания предметов, новый шанс срабатывания можно рассчитать по следующей формуле:

$$y = 1 - (1 - p)^{cl+1},$$

где p – старый шанс срабатывания; cl – количество 57-Листных Клеверов.

Отсюда можно получить новые формулы увеличения урона от предметов и шанса критической атаки:

$$mkmd = \frac{\left(1-\left(1-(0.1*pc)\right)^{cl+1}\right)*300}{100} * mkm,$$

$$ud = \frac{\left(1-\left(1-(0.25*pc)\right)^{cl+1}\right)*80}{100} * bu,$$

$$sbd = \frac{\left(1-\left(1-(0.05*sb*pc)\right)^{cl+1}\right)*180}{100},$$

$$crt = 1 - \left(1 - \left(0.01 + \frac{gl}{10} + 0.05 * bpi\right)\right)^{cl+1}.$$

Используя полученные формулы, рассчитаем финальный урон в секунду по одной цели:

$$fdps = dps * (1 + mkmd) * (1 + ud) * (1 + sbd) * (1 + bbd) * (1 + sjd).$$

Все предметы делятся на 3 уровня редкости: обычные, такие как: Очки Линзодела, Шприц Солдата и Липкая Бомба, редкие: Ракета «воздух-земля» Mk. 1, Инстинкт Хищника, Укулеле и легендарные: Блистающая Махина, Убийственная Справедливость и 57-Листный Клевер. По карте игры разбросаны сундуки, из них можно находить предметы. Шанс нахождения обычного предмета в сундуке равен 79,2% [3], редкого 19,8%, а легендарного 0,99%, также существуют большие сундуки они появляются реже, но из них с 80% шансом выпадает редкий предмет и с 20% легендарный.

Также в игре возрастает сложность в зависимости от многих факторов. Сложность можно рассчитать, если учитывать следующие факторы:

$$playerFactor = 0.7 + 0.3 * (playerCount)$$

$$timeFactor = 0.0506 * difficultyValue * playerCount^{0.2}$$

$$stageFactor = 1.15^{stagesCompleted}$$

где $playerCount$ – количество игроков(от 1 до 4); $difficultyValue$ – заранее выбранный режим игры (1 – простой, 2 – средний, 3 – сложный); $stagesCompleted$ – количество пройденных этажей.

Зная факторы, найдем коэффициент увеличения сложности и уровень противников, от которого зависит их урон и здоровье:

$$coeff = (playerFactor + timeInMinutes * timeFactor) * stageFactor,$$
$$enemyLV = 1 + (coeff - playerFactor)/0.33,$$
$$enemyHP = startEnemyHP + \frac{startEnemyHP*30}{100} * (enemyLV - 1),$$
$$enemyDMG = startEnemyDMG + \frac{StartEnemyDMG*20}{100} * (enemyLV - 1),$$

где $timeInMinutes$ – время пройденной с начала игры; $startEnemyHP$ – начальное здоровье противника; $startEnemyDMG$ – начальный урон противника.

Однако в игре есть Финальный Босс, формула расчета здоровья которого будет иной:

$$MithrixHP = \left(1000 * stage * \left(\left(1 + \frac{coeff}{2.5}\right) * playerCount^{0.5} * 10\right) * 10\right) * MArmor,$$
$$MArmor = 1 + \frac{20}{100+20},$$

где $MArmor$ – броня Финального Босса, равная 20.

Исходя из этих формул, можно найти приблизительное время для победы над ним:

$$\frac{MithrixHP}{fdps}.$$

Была создана Excel таблица для расчета всех вышеперечисленных формул, а также макрос, который сравнивает между собой прирост урона от каждого предмета и выводит наиболее эффективный предмет каждой редкости в зависимости от заранее введенной игровой ситуации.

```
' Обычные предметы
If bestCommonItem <> "" Then
    ws.Range("S" & outputRow).Value = "Обычный"
    ws.Range("T" & outputRow).Value = bestCommonItem
    ws.Range("U" & outputRow).Value = Format(maxCommonIncrease, "0.00")
    ws.Range("S" & outputRow & ":U" & outputRow).Interior.Color = RGB(221, 221, 221) ' Серый
    outputRow = outputRow + 1
End If

' Редкие предметы
If bestRareItem <> "" Then
    ws.Range("S" & outputRow).Value = "Редкий"
    ws.Range("T" & outputRow).Value = bestRareItem
    ws.Range("U" & outputRow).Value = Format(maxRareIncrease, "0.00")
    ws.Range("S" & outputRow & ":U" & outputRow).Interior.Color = RGB(19, 136, 8) ' Зеленый
    outputRow = outputRow + 1
End If
```

Рисунок 1 – участок кода макроса

Рассмотрим работу программы при следующих условиях: 5 Очков Линзодела, 1 Шприц Солдата, 2 Липкие Бомбы, 2 Инстинкта Хищника, 1 Ракета «воздух-земля» Mk. 1, 0 Укулеле, 0 Блистающих Махин, 0 Убийственных Справедливостей, 1 57-Листный Клевер, 5 уровень персонажа.

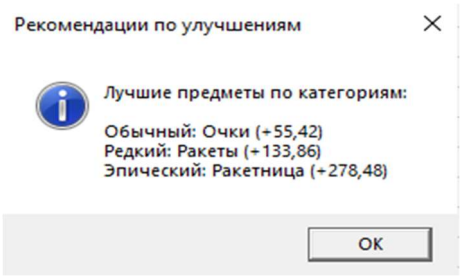


Рисунок 2 – Пример работы макроса

Таким образом, исследование наглядно показывает взаимосвязь математического моделирования и практических расчётов в анализе игровых механик. Данная исследовательская работа имеет практическое применение, поскольку разработанную нами программу можно разместить на форуме для пользователей и любой игрок этой игры сможет ей воспользоваться, а также эта работа может быть полезной для разработчиков в ходе балансировки игр. В дальнейшем мы планируем и дальше развивать нашу работу, рассмотрев навыки других персонажей.

Список использованных источников:
1. видеоигра Risk of Rain 2.
2. https://ru.wikipedia.org/wiki/Risk_of_Rain_2
3. https://riskofrain2.fandom.com/wiki/Risk_of_Rain_2_Wiki

UDC 004.928-042.4

MODELING A GAME SITUATION IN THE VIDEO GAME RISK OF RAIN 2

Anisenko E.V., Sidorov A.A., students of group 424402
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics[1], Minsk, Republic of Belarus

Primicheva Z.N. – PhD in Physics and Mathematics

Annotation. In *Risk of Rain 2*, game mechanics are deeply interconnected, influencing the player and other entities in complex and sometimes non-obvious ways. A program was developed to help players calculate damage values based on different item combinations, allowing them to derive optimal strategies using this data.

Keywords. Game mechanics modeling, damage formulas, game difficulty, optimization strategies, Excel modeling, practical application.

УДК 512.12:004.424.47

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АРИФМЕТИЧЕСКИХ ПРОГРЕССИЙ ПРОСТЫХ ЧИСЕЛ ПРИ ХЕШИРОВАНИИ ПО ОСТАТКУ ОТ ДЕЛЕНИЯ

Климинтионак В.С, студент гр.451003, Кужик Д.С, студент гр.451003

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники[1]
г. Минск, Республика Беларусь

Баркова Е.А. – канд. физ.-мат. наук

Аннотация. Главной целью данной научной работы является исследование и оптимизация методов хеширования с использованием арифметических прогрессий простых чисел. В работе рассматриваются хеш-функции, их влияние на скорость и точность хеширования, а также изучается проблема коллизий. Разработаны новые алгоритмы: алгоритм поиска арифметических прогрессий простых чисел и алгоритм оценки распределения хэш-функций.

Ключевые слова. Хеширование, хеш-функция, хеш-таблица, коллизия, распределение, арифметическая прогрессия, теорема Грина-Тао, дисперсия, эффективность, оптимизация, алгоритм, простые числа.

Впервые идея хэширования возникла в 1953 г. Ханс Петер Лун отправил в IBM внутреннюю записку, предложив помещать информацию в «ячейки» для ускорения ее поиска.

Хэширование – это процесс преобразования данных в уникальный (или почти уникальный) хеш-код фиксированной длины с использованием специальной хеш-функции.

Хеш-функция – это функция, получающая на входе данные, обычно строку, и возвращающие число.

То есть множество всех хеш-кодов, полученных из всех входных данных при помощи данной хеш-функции.

Хранить информацию в таком виде удобнее, так как за 1 операцию можно узнать в какой «ячейке» хранится информация, если получится так, что в одной «ячейке» несколько слов, то искомое можем найти простым перебором. Что куда быстрее чем перебирать целый словарь. Ситуация, когда в одной «ячейке» сразу несколько слов – называется коллизией.

Коллизия – это явление, когда при разных входных данных, хеш-функция возвращает, одно и то же число – хеш-код. От коллизий избавится невозможно, но в “хороших” хеш-функциях вероятность их возникновения стремится к теоретическому минимуму.

Но не менее важной характеристикой хэш-функций является распределение.

это мера, которая отражает разброс количества коллизий, на разные значения хеш-кода.

Примеры с хорошим и плохим распределением, (рисунок 1), (рисунок 2).

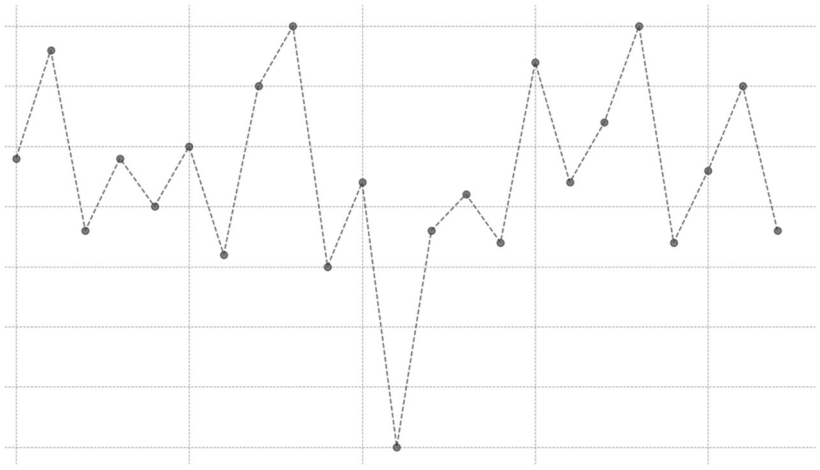


Рисунок 8 – Пример плохого распределения

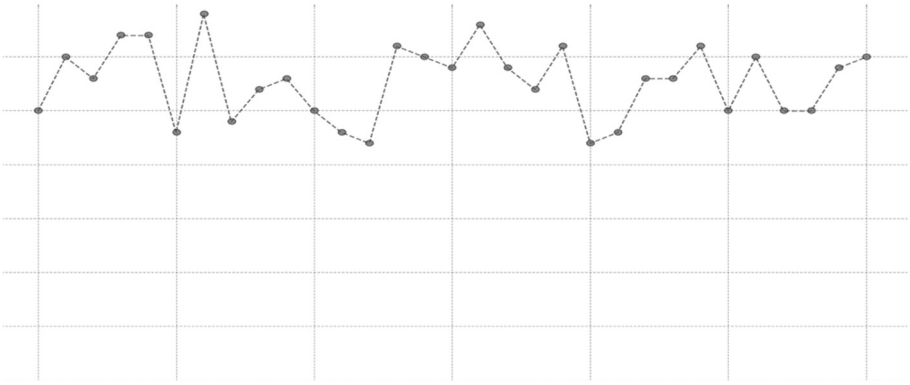


Рисунок 2 – Пример хорошего распределения

Большинство популярных хэш-функции имеют сложность O(n) и гарантируют минимальное число коллизий. Рассмотрим хэш-функцию со сложностью

O(1) — f(x) = x mod N. Это одна из самых простых хэш-функций. Но распределение в ней зависит от выбора N.

Сформулируем теорему: Арифметическая прогрессия вида S = a + km дает больше возможных остатков от деления. Докажем:

— Для составных N (где d = НОД(m, N) > 1):

Прогрессия порождает только N / d уникальных остатков.

Пример: при N = 6, m = 2, остатки 1, 3, 5 повторяются

— Для простых N:

Так как m и N взаимно просты, последовательность km mod N дает полную перестановку остатков.

Пример: N=5, m=2, следовательно, остатки 0, 1, 2, 3, 4 покрывают весь диапазон.

Таким образом, простые числа являются оптимальным хэш-ключом.

Впервые о прогрессиях простых чисел заговорили в 1770 году, а именно в переписке Лагранжа и Варинга. Однако первые достижения в этой области были сделаны лишь в 1938 году, Николаем Григорьевичем Чудаковым который доказал, что множество простых чисел содержит бесконечно много арифметических прогрессий длиной три. Вопрос о прогрессиях длиной более трех, до недавнего времени оставался открытым.

В 2004 году Бен Грин и Теренс Тао доказали существование арифметических прогрессий произвольной длины в множестве простых чисел. В своем доказательстве они использовали комбинацию идей из разных математических областей.

Теорема Грина-Тао утверждает, что последовательность простых чисел содержит арифметические прогрессии произвольной длины.

Самая длинная такая прогрессия на момент написания статьи имеет 27 элементов. Для ее нахождения понадобились тысячи компьютеров волонтеров. И нашли ее в 2019 году.

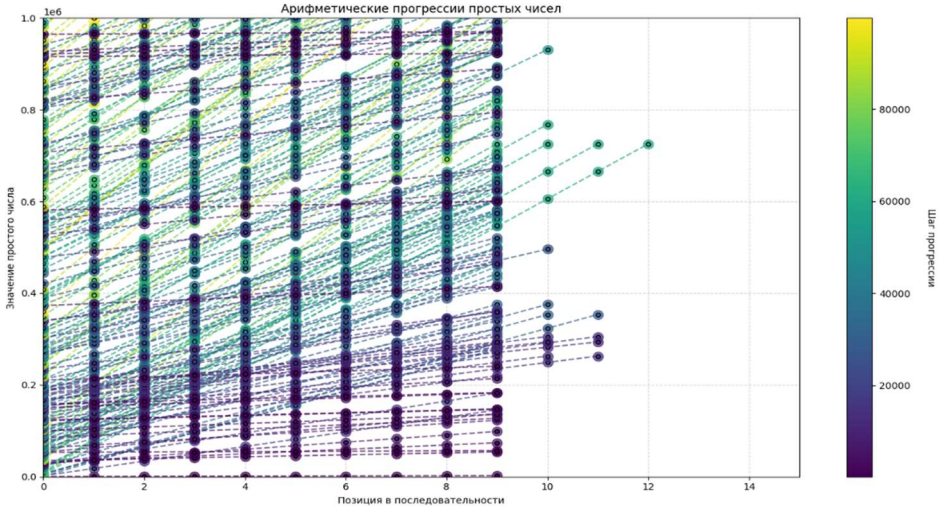


Рисунок *9* – Арифметические прогрессии в множестве простых чисел

На данном графике (рисунок 3) изображен результат работы разработанного алгоритма, по поиску арифметических прогрессий в множестве простых чисел. В данном случае была найдена прогрессия длиной в 12 элементов.

После полученных результатов была выдвинута гипотеза о том, что арифметические прогрессии простых чисел могут применяться при хешировании вида x mod N.

Для сравнения эффективности хеш-функции для различных N, очень важным критерием является распределение.

Для сравнения эффективности распределения хеш-функции, было решено использовать формулу Дисперсии.

Дисперсия – это мера, которая показывает разброс величины, относительно ее математического ожидания и вычисляется по формуле:

$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\overline{x})^2}{n-1}}$, где x – математическое ожидание, xi – текущее значение,

n - количество экспериментов.

В данном эксперименте в качестве математического ожидания выступает идеальное распределение, то есть, когда на разные значения хеш-кода приходится одинаковое количество коллизий. А в качестве текущего значения – количество коллизий, приходящееся на одно значение хеш-кода.

Сравним два метода расширения хеш-таблиц. Допустим мы хешируем методом x mod N и нам понадобилось увеличивать N постепенно (для экономии памяти), тогда это можно сделать двумя методами.

Было написано программное средство и проведен тест, для которого использовали миллиард случайно сгенерированных чисел. Которые генерировались в диапазоне 0 - 655 миллионов. Тем самым имитируя поток входных данных.

Таблица 1 – Пример распределения двух методов

Первый метод		Второй метод	
N	Распределение	N	Распределение
3701	13.760%	4001	12.566%
6221	6.387%		
8741	3.823%	8009	4.391%
11261	2.651%		
13781	1.945%	16007	1.565%
16301	1.522%		

1-й метод – это заранее найдена арифметическая прогрессия простых чисел

2-й метод – это заранее найдены числа для расширения, путем умножения начального числа на два и поиска ближайшего простого числа.

Видно, что процент распределения сравним, а значит главное отличия методов: использование памяти и трудность нахождения нового N. Но возникает проблема. Так как заметно, что с ростом числа N, распределение улучшается, так как количество возможных остатков от деления (хеш-кодов) возрастает. Но и различия для приблизительно равных чисел минимальны, что и приводит к тому, что мы можем подобрать любые простые числа, которые больше предыдущих. Разница лишь в скорости роста хеш-таблицы.

А также арифметические последовательности конечны, но очень просто программно реализуемы, то есть нужно знать только шаг, количество элементов и начальное число прогрессии.

Так же можно применять любые закономерности простых чисел, где арифметическая прогрессия может выступать только способом их нахождения. Но в некоторых случаях, когда мы знаем входные данные, можно подобрать «хорошую» хеш-функцию. Где арифметическая последовательность простых чисел может стать оптимальным решением.

Список использованных источников:

1. Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., & Stein, C. Introduction to Algorithms. *– 3rd ed. – Cambridge: MIT Press, 2009. – 253 p.*

2. Knuth, D. E. The Art of Computer Programming, Volume 3: Sorting and Searching. *– 3rd ed. – Boston: Addison-Wesley, 1998. – 744 p.*

3. Stinson, D. R. Cryptography: Theory and Practice. *– 3rd ed. – Boca Raton: CRC Press, 2006. – 137 p.*

4. Granville, A., P. Primes in Arithmetic Progressions. *– In:* Mathematical Surveys and Monographs*, 2007.*

5. Как работает хэширование? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://habr.com/en/companies/ruvds/articles /747084/

UDC 512.12:004.424.47

USE OF ARITHMETIC PROGRESSIONS OF PRIME NUMBERS IN FACTORING ON THE REMAINDER FROM DIVISION

Klimintsiyonak V.S, Kuzhik D.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics[1], Minsk, Republic of Belarus

Barkova E.A. – PhD in Physics and Mathematics

Annotation. The main objective of this scientific work is to study and optimize hashing methods using arithmetic progressions of primes. The article considers hash functions, their influence on hashing speed and accuracy, as well as the problem of conflicts. New algorithms have been developed: the algorithm for finding arithmetic progressions of prime numbers and the algorithm for evaluating the distribution of hash functions.

Keywords. Hashing, hash function, hash table, collision, distribution, arithmetic progression, Green-Tao theorem, dispersion, efficiency, optimization, algorithm, simple numbers.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ ОТКЛОНЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ПРОСТЕЙШЕЙ ИГРЫ

Волынец В.И. Хренков Д.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Баркова Е.А. – канд. физ.-мат. наук

Проводится следующая игра. Каждый игрок бросает монету, если выпадает орёл – игрок победил, если выпадает решка – игрок проиграл. Одни игроки играют честно, то есть вероятность выпадения орла у них 50%. Другие игроки играют нечестно, то есть вероятность выпадения орла у них больше 50%, назовем таких игроков нарушителями. Требуется составить такой тест (k и более орлов из n бросков), чтобы раскрыть максимальное количество нарушителей, при этом обвинить ложно минимальное количество честных игроков, затратив минимальный возможный объём данных.

Рассмотрим следующую задачу:

Определить минимум 98% нарушителей, ложно обвинив менее 5% честных игроков при минимальном количестве бросков, зная, что шанс выпадения орла на монете нарушителя 55%.

Для решения задачи мы будем анализировать вероятность выпадения орла различное количество раз за определённое число бросков. Для нахождения вероятности выпадения орла используем формулу Бернулли:

$$P(k) = \binom{n}{k} \cdot p^k \cdot (1-p)^{n-k} \quad (1),$$

где n – количество бросков монеты,

k – количество положительных исходов,

(n / k) – биномиальный коэффициент,

P – вероятность положительных исходов при k,

p – вероятность положительного исхода каждый бросок.

Постепенно увеличивая общее количество бросков и анализируя вероятности выпадения орла, получим ответ.

В процессе решения задачи было замечено, что даже для небольших значений расчёты при помощи формулы Бернулли являются объёмными. Отсюда появляется вопрос автоматизации процесса решения по формуле Бернулли при помощи программного кода.

Для нахождения конкретного решения мы перебираем по порядку все возможные комбинации бросков и выпадений орла, вычисляя кумулятивную сумму для честного и нечестного игроков. В момент, когда сумма для честного игрока не подходит под статистические требования, мы останавливаем текущий цикл и переходим на следующую итерацию общего количества бросков. Решение считается найденным, когда две суммы удовлетворяют статистическим условиям.

В определённых случаях для решения подобных задач, в виду громоздкости использования формулы Бернулли, удобнее воспользоваться интегральной формулой Муавра-Лапласа. Основными параметрами формулы являются математическое ожидание и стандартное отклонение. Важным параметром для данной формулы является ограниченность в использовании. Так как интегральная формула Муавра-Лапласа не является абсолютно точной, перед её использованием нужно проверить рациональность её использования в рамках конкретной задачи.

Так как использование формулы Бернулли является неудобным даже для относительно больших значений, а для использования интегральной формулы Муавра-Лапласа необходимо выполнение определённых условий, мы решили сократить количество этапов подсчёта, при этом сохранив возможность использовать формулу для случаев, когда n*p*q < 20. Готовых решений, подходящих в данной конкретной ситуации найдено не было, поэтому провели преобразования самостоятельно и получили собственную формулу:

$$P(X \geq k) = p^k \binom{n}{k} (1-p)^{n-k} \cdot 2F_1\left(1, k-n; k+1; \frac{p}{p-1}\right) \quad (2),$$

По формуле Бернулли с помощью автоматизированного подхода получили результаты, приведённые на рисунке 1. Результатом является 715 и более выпадений орла из 1368 бросков.

Результат расчётов по собственной формуле совпал с результатом расчётов по формуле Бернулли.

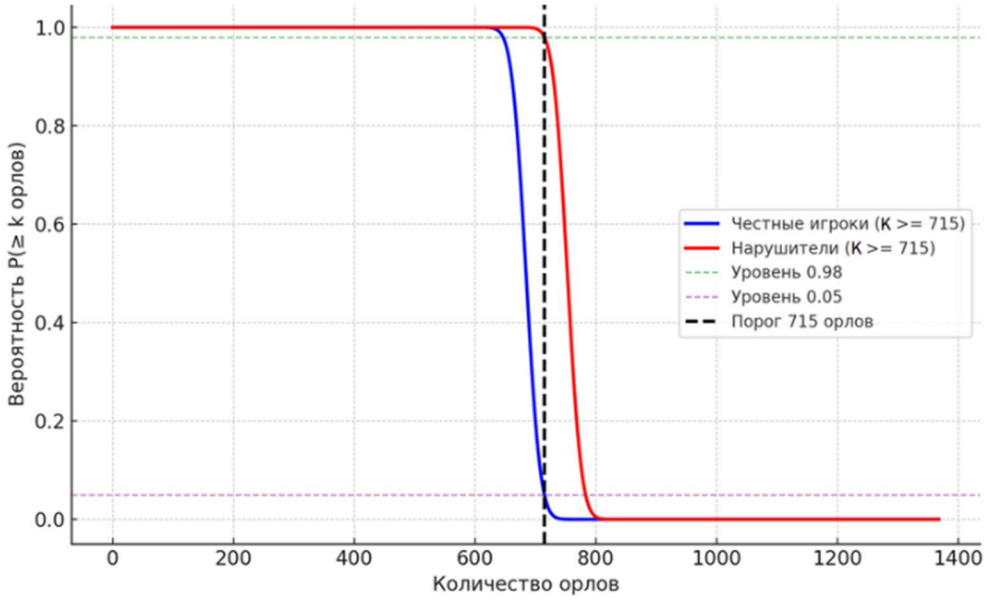


Рисунок 1 – График визуализации результатов расчётов по формуле Бернулли

Расчеты для честного игрока

Расчет математического ожидания и стандартного отклонения

$\sqrt{npq}\sqrt{1368 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}5} \approx 18{,}49$

Преобразование в стандартную нормальную формулу и нахождение вероятности

$Z = \left(\frac{715-684}{18{,}49}\right) = \frac{31}{18{,}49} \approx 1{,}67$

P(X ≥ 715) = 1 – Φ(1,67) = 1 – 0,9525 = 0,0475

Расчеты для нарушителя

Расчет математического ожидания и стандартного отклонения

$\sqrt{npq}\sqrt{341{,}4} \approx 18{,}47$

Преобразование в стандартную нормальную формулу и нахождение вероятности

$Z = \left(\frac{715-754{,}4}{18{,}47}\right) = \frac{-39{,}4}{18{,}47} \approx -2{,}13$

P(X ≥ 715) = 1 – Φ(-2,13) = 1 – 0,0166 = 0,9834

Методы анализа статистических отклонений применяются в различных областях, где данный подход может быть интегрирован как компонент систем анализа, например в образовательных платформах, системах контроля качества и игровой индустрии.

Список использованных источников:

1. Информационный архив Корнеллского университета [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://arxiv.org/abs/1802.04888.

2. В. А. Быковский, Д. А. Фроленков, "Некоторые интегральные представления для гипергеометрической функции", Дальневост. матем. журн., 15:1 2015. – С. 38-40.

3. Шундалов, Б. М. Статистика. Общая теория. Учебник. Минск 2012. – С. 14-28.

4. The American Statistician // 2019, выпуск 73, № 1–1.

УДК 51.7

ФРАКТАЛЫ

Карнюшкова М.М., студентка группы 473903, Бабичева А.А., студентка группы 473903

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Лобанок Л.В. – старший преподаватель ВМ

Аннотация. Статья посвящена изучению фракталов – уникальных геометрических объектов, обладающих свойством самоподобия. Рассматриваются основные типы фракталов: геометрические, алгебраические и стохастические, а также их применение в различных научных и практических сферах.

Ключевые слова. Фрактал, самоподобие, рекурсия, итерация.

Понятие «фрактал» настолько общее, что до сих пор нет его общепринятого определения. Термин фрактал был предложен Бенуа Мандельбротом 1975 г. и получил широкую известность после опубликования в 1977 г. его книги «Фрактальная геометрия природы». Словом «фрактал» - дробный, разбитый, ломаный, - Мандельброт называл самоподобные геометрические фигуры, каждый фрагмент которых повторяется при уменьшении масштаба, то есть, фигура обладает свойством масштабной инвариантности. Каждый этап разбиения фигуры называется итерацией [1].

Однако сама концепция фракталов была открыта задолго до Мандельброта. Георг Кантор еще в 1833 году продемонстрировал самоподобие и рекурсию на «множестве Кантора».

Позже было выявлено, что рекурсия присутствует во многих объектах природного мира, например, в облаках, молниях, деревьях.

Фрактальная структура образуется путем бесконечного повторения (итерации) какой-либо исходной формы во все уменьшающемся (или увеличивающемся) масштабе по определенному алгоритму, т.е. в соответствии с определенной математической процедурой. Этот несложный процесс с обратной связью дает поразительно многообразный морфогенез, нередко подобный созданию природных форм [2].

К видам фракталов принято относить геометрические, алгебраические и стохастические. Геометрические фракталы образуются в результате деления исходной фигуры, которая преобразуется на каждой итерации. Алгебраические фракталы формируются на основе алгебраических формул. Стохастические фракталы строятся, когда в итерационной системе произвольным образом изменяются один и более параметров.

Геометрические фракталы основаны на прямых линиях, квадратах, кругах, многоугольниках и многогранниках. В качестве примера можно рассмотреть упомянутое выше множество Кантора (рис. 1). Георг Кантор взял случайный отрезок и разделил его на две части. Повторив это действие некоторое количество раз, можно заметить, что, увеличив масштаб изображения, будет получена изначальная картина.

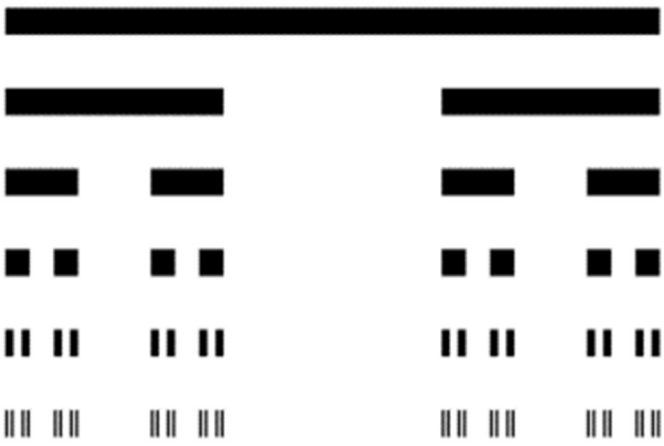


Рисунок 1 – Множество Кантора

Еще одним примером геометрических фракталов является снежинка Коха, открытая Хельге Фон Кохом в 1904 году. Используя метод самоподобия и треугольник, были получены фрактальные

снежинки, представленные на рисунке 2. Можно заметить, что при увеличении итерации происходит процесс усложнения формы получаемого изображения.

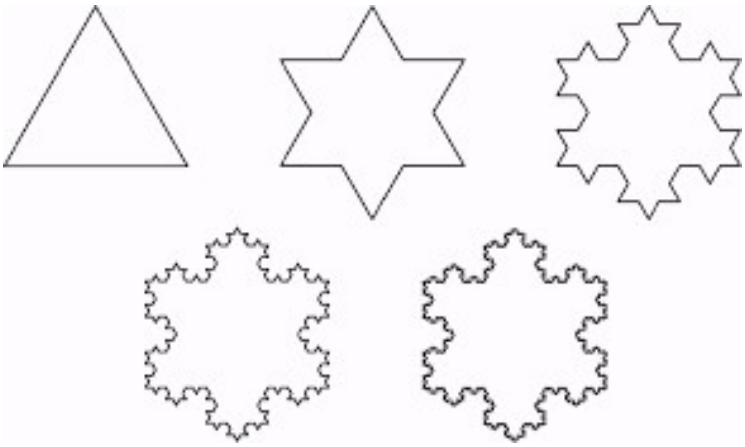


Рисунок 2 – Снежинка Коха

Отличие алгебраических фракталов от геометрических заключается в том, что они строятся на основе формул, а не фигур.

Бенуа Мандельброт впервые смоделировал множество, описанное Пьером Фату в 1905 году, с помощью компьютера на комплексной плоскости. В основе данного множества лежит формула:

$$Z_{n+1} = Z_n^2 + C \quad (1),$$

где Z и C — комплексные числа.

Суть данного фрактала заключается в том, что на каждой последующей итерации используются значения функции из предыдущего шага.

Фрактал Мандельброта представлен на рисунке 3.

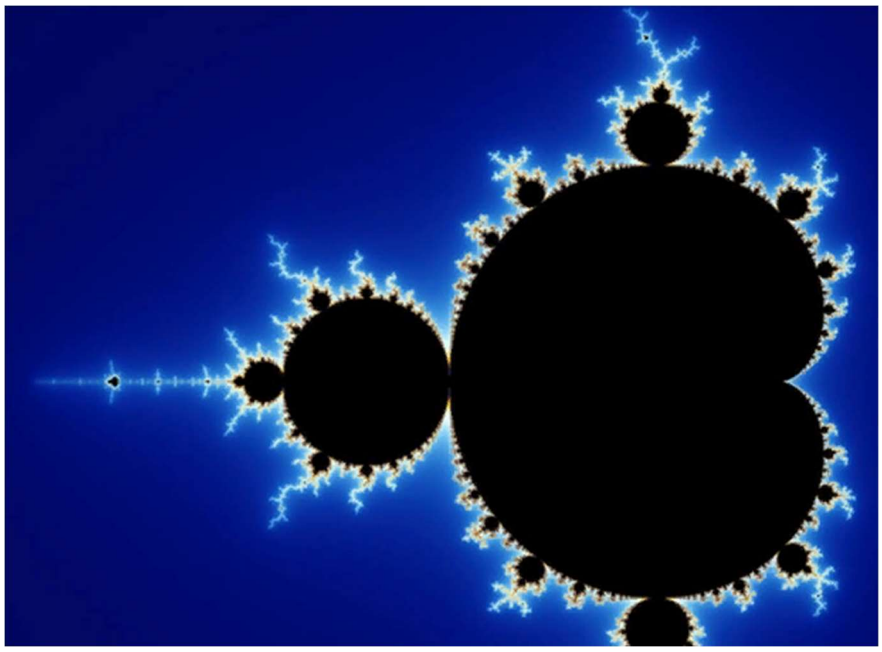


Рисунок 3 – Фрактал Мандельброта

Множество Жюлиа, созданное Гастоном Жюлиа, основывается на той же формуле, что и множество Мандельброта, однако в них есть некоторое отличие. Оно заключается в том, что при создании фрактала с помощью множества Мандельброта на каждой итерации используется новое значение параметра C, в то время как Жюлиа использует константное значение данной переменной. Следовательно, при визуализации полученного фрактала в зависимости от значения C будут получены различные изображения. Пример представлен на рисунке 4.

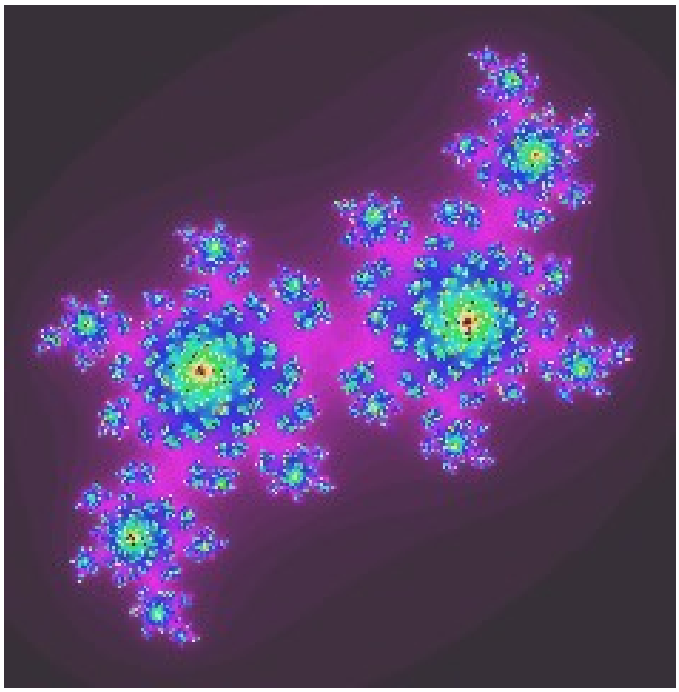


Рисунок 4 – Множество Жюлиа

В стохастических фракталах в отличие от алгебраических и геометрических, которые имеют постоянную формулу, она меняется. Данные изменения могут быть подвержены определенному закону, а также могут происходить произвольно. С помощью стохастических фракталов можно описать объекты живой природы. Например, при изменениях на различных итерациях снежинки Коха можно получить бесконечное количество неповторимых снежинок. Пример стохастического фрактала представлен на рисунке 5.

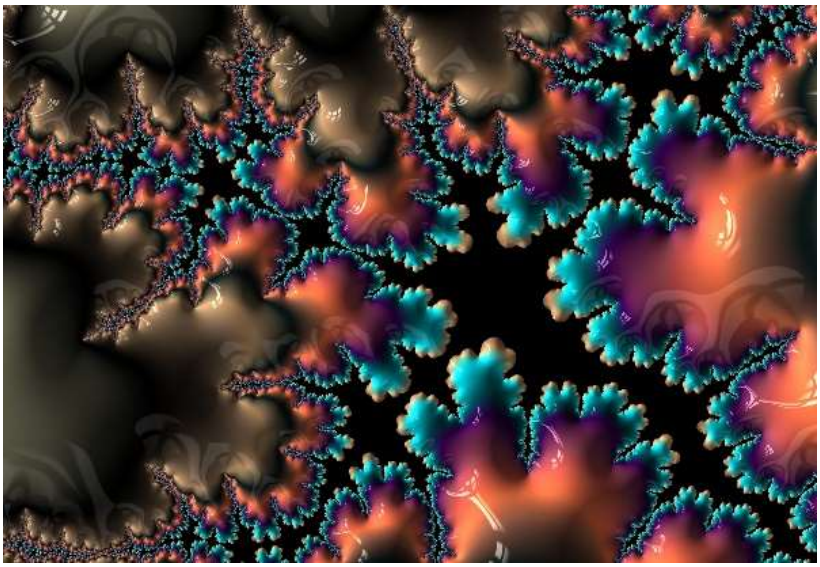


Рисунок 5 – Стохастический фрактал

Фракталы используются во многих сферах жизни человека. Развитие цифровых технологий привело к созданию отдельного направления компьютерной графики, основанной на фракталах. Их использование позволяет значительно экономить память, ведь они позволяют создавать не весь 3-D объект, а описывать только формулу, хранящую лишь часть итогового изображения.

Фракталы используются в различных разделах физики, например, в гидродинамике, физике плазмы, электродинамике и радиоэлектронике. Ярким доказательством этого является фрактальная антенна, разработанная Натаном Коэном в 1995 году. Данная антенна сконструирована на основе Снежинки Коха. Фрактал, на основе которого сконструирована данная антенна, представлен на рисунке 6.

Главным достоинством данной антенны является её обширный диапазон рабочих частот. Кроме того, она обладает значительно меньшими габаритами по сравнению с традиционными аналогами и может использоваться как базовая конструкция для подводных антенн.

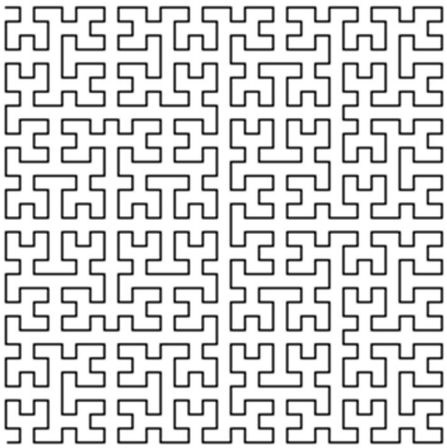


Рисунок 6 - Фрактал, на основе которого сконструирована антенна Натана Коэна

Как уже отмечалось, стохастические фракталы внесли революционный вклад в научное понимание природных объектов и явлений. Это стало возможным благодаря их ключевому свойству — самоподобию, которое присуще горам, облакам, молниям, рекам, растениям, клеткам живых организмов и даже галактикам.

Одним из примеров фракталов в природе является капуста Романеско, представленная на рисунке 7.



Рисунок 7 – Капуста Романеско

Фракталы представляют собой уникальный инструмент для описания и моделирования множества явлений, объединённых свойством самоподобия. Эта концепция стала революцией в науке, искусстве и технологиях. Геометрические, алгебраические и стохастические фракталы находят применение в различных областях, от компьютерной графики и дизайна до физики и биологии. Фракталы не только проливают свет на внутреннюю симметрию природы, но и остаются важным исследовательским инструментом, способным находить новые решения для задач будущего.

Список использованных источников:

1. Чумак О.М. Энтропии и фракталы в анализе данных – Москва: ГАИШ МГУ, 2010. – 6 с.

2. Фракталы и хаос в биологическом морфогенезе / В.В. Исаева [и др.]. – Владивосток: Институт биологии моря ДВО РАН, 2004. – 7 с.

UDC 51.7

FRACTALS

Karniushkova M.M., Babicheva A.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

S Lobanok L.V. - senior lecturer of HM

Annotation. The article is devoted to the study of fractals - unique geometrical objects possessing the property of self-similarity. The main types of fractals are considered: geometric, algebraic and stochastic, as well as their application in various scientific and practical spheres.

Keywords. Fractal, self-similarity, recursion, iteration.

СУММИРОВАНИЕ РАСХОДЯЩИХСЯ ЧИСЛОВЫХ РЯДОВ

Кравцова В.К.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Князюк Н.В. – канд. физ.-мат. наук, доцент

В данной работе рассматриваются методы суммирования расходящихся числовых рядов: метод Пуассона-Абеля и метод Чезаро.

Рассмотрим числовой ряд

$$\sum_{k=1}^{\infty} a_k = a_1 + a_2 + \cdots + a_k + \cdots. \quad (1)$$

В качестве суммы данного ряда берется предел последовательности его частичных сумм $S = \lim\limits_{k\to\infty} S_k$ в предположении, что этот предел существует и конечен (или равен бесконечности определенного знака). «Колеблющийся» расходящийся ряд не имеет суммы в указанном выше обычном смысле. Для решения задачи суммирования расходящихся в обычном смысле рядов применяют методы «обобщенного суммирования» [1]. В их основе лежит понятие «обобщенной суммы ряда».

Определение «обобщенной суммы ряда» обычно удовлетворяет двум требованиям:

1) Линейность. Если ряд $\sum_{k=1}^{\infty} a_k$ имеет обобщенную сумму A, а ряд $\sum_{k=1}^{\infty} b_k$ имеет обобщенную сумму B, то ряд $\sum_{k=1}^{\infty}(\alpha a_k + \beta b_k)$, где $\forall \alpha, \beta \in R$, имеет обобщенную сумму $A + B$.

2) Регулярность. Ряд, сходящийся в обычном смысле к сумме S, должен иметь «обобщенную сумму», и притом также равную S.

В данной работе рассматриваются два метода суммирования расходящихся рядов: метод Пуассона-Абеля (метод степенных рядов) и метод Чезаро (метод средних арифметических)

Метод Пуассона-Абеля (метод степенных рядов). По данному ряду (1) составим степенной ряд

$$\sum_{k=1}^{\infty} a_k\, x^{k-1} = a_1 + a_2 x + a_3 x^2 + \cdots + a_k x^{k-1} + \cdots. \quad (2)$$

Если этот ряд сходится для всех $x \in (0,1)$ и его сумма $S(x)$ при $x \to 1 - 0$ имеет предел, равный *S*, то есть $\lim\limits_{x\to 1-0} S(x) = S$, то говорят, что ряд (1) суммируем методом Пуассона-Абеля и число *S* называют «обобщенной (в смысле Пуассона) суммой» данного ряда.

Данный метод «обобщенного суммирования», очевидно, является линейным. Его регулярность доказывает следующая теорема [1].

Теорема (Абеля). Если ряд (1) сходится и имеет сумму *S* (в обычном смысле), то для $x \in (0,1)$ сходится степенной ряд (2) и сумма его стремится к пределу *S* при $x \to 1 - 0$.

Пример 1. Рассмотрим расходящийся ряд

$$\sum_{k=1}^{\infty} (-1)^{k-1} = 1 - 1 + 1 - 1 + \cdots.$$

Составим степенной ряд вида (2)

$$\sum_{k=1}^{\infty} (-1)^{k-1} x^{k-1} = 1 - x + x^2 - x^3 + \cdots.$$

Данный степенной ряд сходится для всех $x \in (0,1)$ и имеет сумму, равную $S(x) = \frac{1}{1+x}$. Так как

$$\lim_{x\to 1-0} S(x) = \lim_{x\to 1-0} \frac{1}{1+x} = \frac{1}{2},$$

то рассматриваемый ряд суммируем по методу Пуассона-Абеля и его обобщенная сумма равна $\frac{1}{2}$.

Метод Чезаро (метод средних арифметических). Пусть S_k – частичные суммы числового ряда (1), а

$$A_1 = S_1, A_2 = \frac{S_1 + S_2}{2}, \dots, A_k = \frac{S_1 + S_2 + \dots + S_k}{k}, \dots -$$

последовательность средних арифметических сумм этого ряда. Если существует

$$\lim_{k\to\infty} A_k = \lim_{k\to\infty} \frac{S_1 + S_2 + \dots + S_k}{k} = S$$

то число S называется «обобщенной (в смысле Чезаро) суммой» ряда (1).

Пример 2. В качестве примера снова рассмотрим расходящийся ряд

$$1 - 1 + 1 - 1 + \dots$$

Так как $A_{2k+1} = \frac{k+1}{2k+1}$, а $A_{2k} = \frac{1}{2}$, то $\lim_{k\to\infty} A_k = \frac{1}{2}$. Данный ряд суммируем методом Чезаро и его сумма равна $\frac{1}{2}$.

Линейность метода Чезаро очевидна. Его регулярность вытекает из следующего утверждения.

Утверждение. Если последовательность $\{\alpha_k\}$ сходится к пределу A, то к этому же пределу сходится и последовательность $\sigma_k = \frac{\alpha_1+\alpha_2+\dots+\alpha_k}{k}$ средних арифметических чисел $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k, \dots$.

Имеет место следующее утверждение.

Теорема (Фробениуса). Если ряд (1) суммируем по методу средних арифметических к конечной «сумме» S, то одновременно он суммируем также по методу Пуассона-Абеля, и притом к той же сумме.

Заметим, что обратное неверно. Например, знакочередующийся ряд

$$1 - 2 + 3 - 4 + \dots$$

не имеет «обобщенной суммы» в смысле Чезаро, так как не выполняется необходимое условие суммируемости по методу средних арифметических. Тогда как ряд

$$1 - 2x + 3x^2 - 4x^3 + \dots$$

имеет при $x \in (0,1)$ сумму $S(x) = \frac{1}{(1+x)^2}$, а $\lim_{x\to 1-0} S(x) = \lim_{x\to 1-0} \frac{1}{(1+x)^2} = \frac{1}{4}$. Следовательно, «обобщенная сумма» рассматриваемого ряда по методу Пуассона-Абеля равна $\frac{1}{4}$.

Таким образом, метод Пуассона-Абеля применим в более широком классе случаев, чем метод Чезаро, при этом не противоречит ему в тех случаях, когда применимы оба метода.

Список использованных источников:

1. Фихтенгольц, Г.М. Основы математического анализа. Часть 2.Учебник / Г.М. Фихтенгольц. – Москва: Огни, 2005. -- 464 с..

`УДК 511+004.4

ПЕРИОД ПИЗАНО

Родулевич А. О., Курстак Т. И., студенты гр.451001

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Баркова Е. А. – Заведующий кафедрой, кандидат

физико-математических наук, доцент

Ключевые слова. Период Пизано, рекуррентность, последовательность Фибоначчи, зависимость, Python.

Аннотация. Исследование посвящено изучению периодов Пизано π(m) — длин циклов повторения последовательности Фибоначчи по модулю m. С использованием Python проанализированы 100 000 чисел, выявлены закономерности и доказаны формулы для степеней 2, 5 и 24·5.

Результаты подтверждены анализом свойств последовательности Фибоначчи, включая тождества для четных членов и рекуррентные преобразования.

Введение

Последовательность Фибоначчи, впервые описанная Леонардо Пизанским в XIII веке, является одной из наиболее изученных рекуррентных последовательностей в математике. Её свойства находят применение в различных областях, включая теорию чисел, криптографию и алгоритмическую оптимизацию.

Одним из ключевых аспектов исследования этой последовательности является ее поведение в модульной арифметике, в частности, изучение периодов Пизано — длин циклов, с которыми последовательность повторяется по модулю натурального числа π(m) представляет значительный теоретический и практический интерес.

Основная часть

Начинаем с начальных условий

$$(F_0 \pmod m, F_1 \pmod m) = (0, 1) \quad (1)$$

При каждом шаге система переходит в новое состояние согласно рекуррентному соотношению. Поскольку количество возможных пар F_n (mod m), F_{n+1}(mod m) ограничено числом $m2$, система обязана вернуться в одно из уже посещённых состояний после конечного числа шагов. Это означает, что вся последовательность начнёт повторяться. Количество состояний, прошедших системой и является периодом Пизано.

Для сбора данных (точек и их периодов Пизано) нами был использован язык программирования Python. Также было разработано программное средство, предоставляющее возможность получить указанные точки в удобном для обработки и графического вывода формате. Измерения были проведены для 100000 целых натуральных чисел. График измерения представлен на рисунке 1.

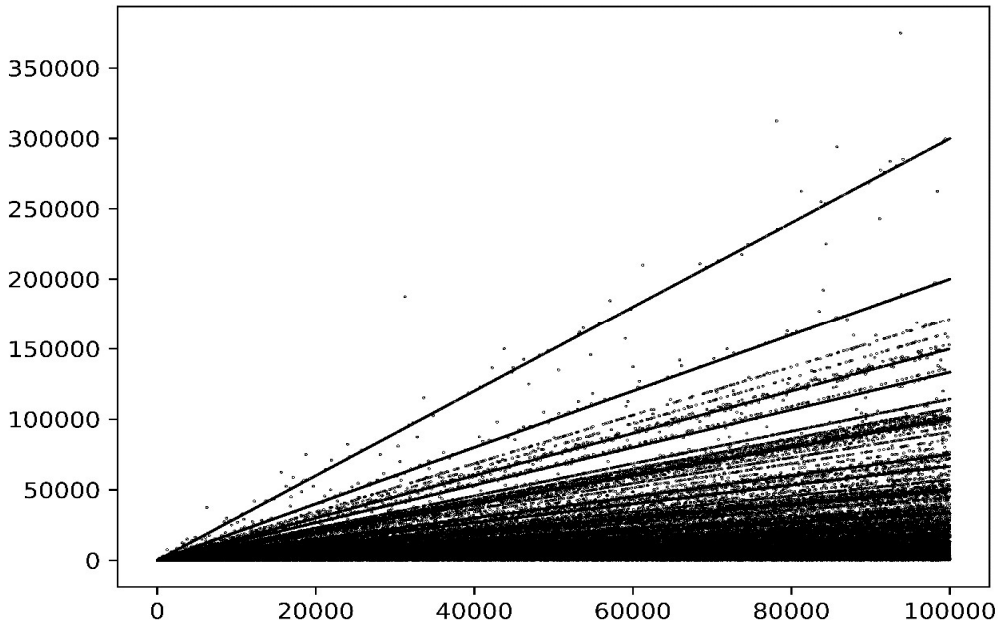


Рисунок 1 – Измерения для 100000 целых натуральных чисел.

Если пронаблюдать за периодами для разных чисел, становится заметно, что Большинство точек имеют период в диапазоне от 0 до 50000. С использованием упомянутого программного средства нами был получен график, представленный на рисунке 2 и изображающий измерения периодов в диапазоне от 0 до 50000, при том же наборе чисел.

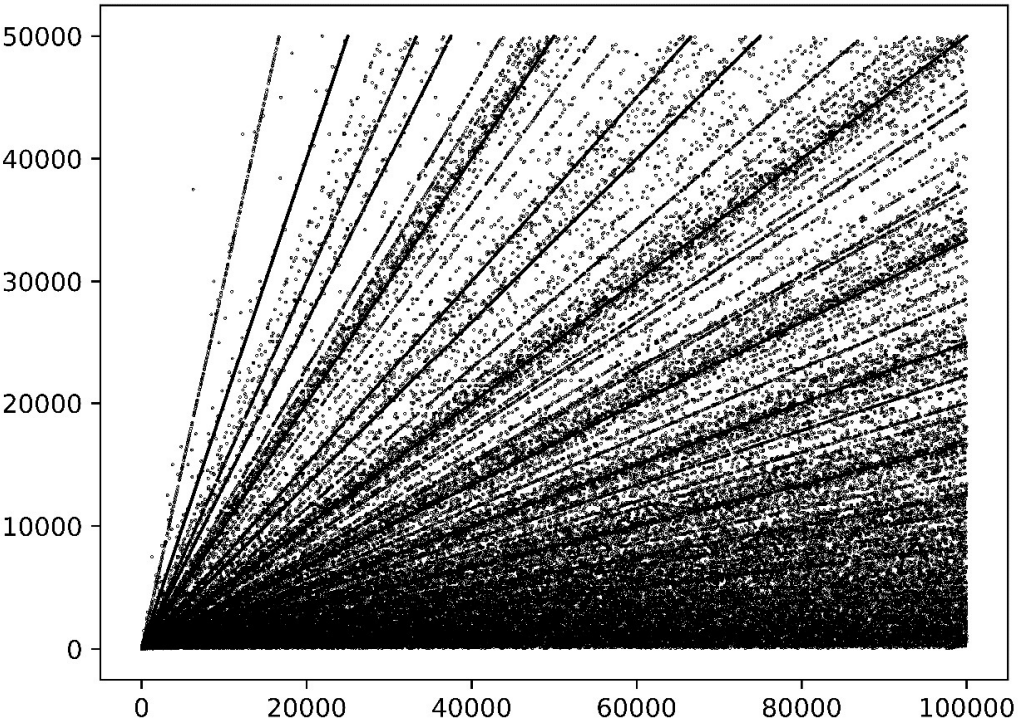


Рисунок 2 – Измерения периодов в диапазоне от 0 до 50000

Если наблюдать за периодами для разных чисел, становится заметно, что существуют такие наборы чисел, для которых зависимость периода от числа близка к линейной.

Вычислим значения для 1000 периодов. Теперь при помощи программного обеспечения для каждой предполагаемое линейной зависимости найдем коэффициенты прямой, которая содержит как минимум 3 точки, при этом наши линейные зависимости должны быть возрастающими, смотреть на рисунке 3. Далее для более точного анализа предполагаемых линейных зависимостей увеличим диапазон исследования.

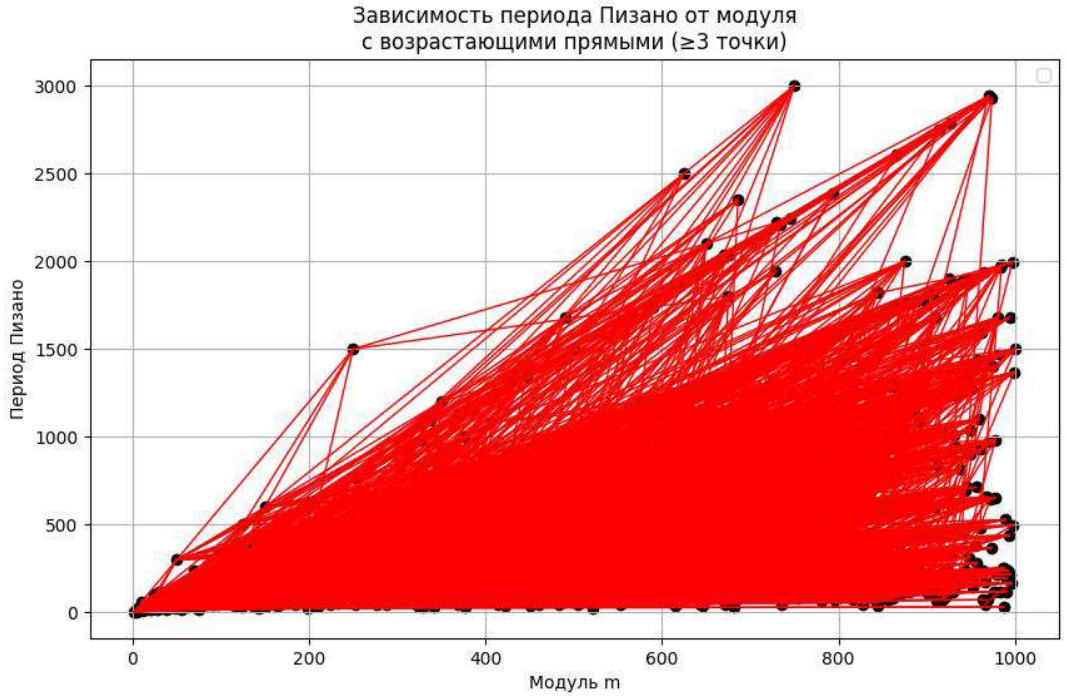


Рисунок 3 – Возрастание линейных зависимостей.

Анализируя все прямые, а именно коэффициенты и точки, через которые они проходят, найдем выделяющиеся зависимости, Такими являются π(2m), π(5m), π(24∗5m), смотреть рисунок 4.

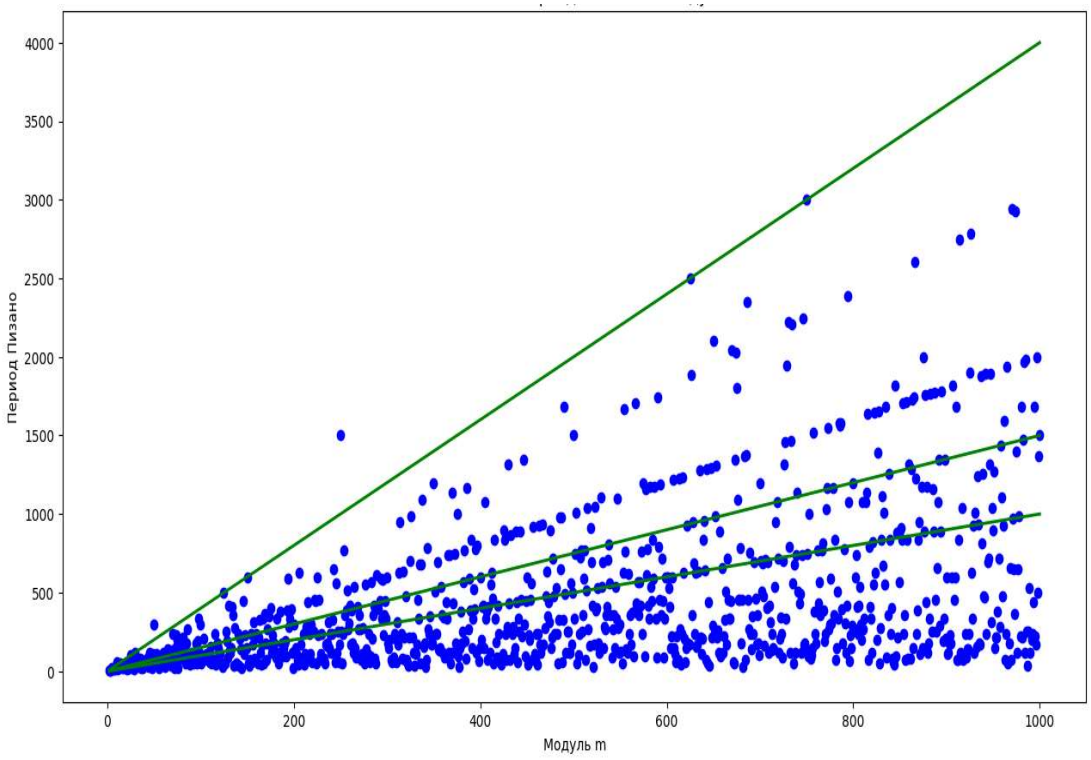


Рисунок 4 – Выделяющиеся зависимости.

Заключение

Проведённое исследование периодов Пизано π(m) продемонстрировало их фундаментальную связь со структурой последовательности Фибоначчи в модулярной арифметике. На основе анализа свойств рекуррентных соотношений и применения методов теории чисел были доказаны гипотезы о

линейных зависимостях для степенных модулей. Ключевым инструментом работы стала разработанная программа на Python, позволившая провести масштабный вычислительный эксперимент для 100 000 натуральных чисел. Визуализация данных выявила преобладание периодов в диапазоне 0–50 000 и подтвердила наличие устойчивых линейных трендов для специфических классов чисел.

Список использованных источников:

1. Wikipedia – Pisano period [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Pisano_period Дата доступа: 11.03.2025.

2. ON THE DIVISIBILITY PROPERTIES OF FIBONACCI NUMBERS, John Hs Halton, University of Colorado, Boulder, Colorado, 2011.

3. V. E. Hoggatt, Jr. , Fibonacci and Lucas Numbers, Houghton Mifflin, Boston, 1969.

4. The Fibonacci Sequence Under Various Moduli, Marc Renault. May, 1996.

5. Frederick Gebhardt, "Generating Pseudo-Random Numbers by Shuffling a Fibonacci Sequence," Mathematics of Computation, Oct. 1967

UDC 511+004.4

PISANO PERIOD

Rodulevich A. O., Kurstak T. I., students of group 451001.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Barkova E. A. – Head of Department, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor

Keywords. Pisano period, recurrence, Fibonacci sequence, dependency, Python.

Annotation. The study is devoted to the investigation of Pisano periods π(m)—the lengths of cycles in the Fibonacci sequence modulo m. Using Python, 100,000 numbers were analyzed, revealing patterns and proving formulas for powers of 2, 5, and 24·5.
The results are confirmed by an analysis of the properties of the Fibonacci sequence, including identities for even terms and recurrent transformations.

УДК 511.17

ПРОСТЫЕ ЧИСЛА МЕРСЕННА

Бондаровец В.В, Доманькова В.В, студенты гр.473901

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Лобанок Л.В. – старший преподаватель кафедры высшей математики

Аннотация. Статья посвящена простым числам Мерсенна. В её рамках рассматривается их экспоненциальная природа и уникальная связь с совершенными числами. Отдельно рассматриваются основные методы их поиска и практические направления применения объекта исследования с приведением конкретных примеров. Выделяется значение простых чисел Мерсенна в математической науке.

Ключевые слова. Простые числа, совершенные числа, экспоненциальная природа, тест Люка-Лемера, распределенные вычисления, криптография.

Числа Мерсенна – это числа вида $2^n - 1$, где n – натуральное число. Простые из них – те, которые имеют только два делителя, то есть, делятся без остатка только на единицу и сами на себя. Такое определение им дал древнегреческий математик Евклид ещё в античности.

Он также исследовал связь между совершенными числами и числами вида $2^n - 1$ и сделал вывод, что если $\mathrm{M} = 2^n - 1$ — простое число, то число вида

$$N = 2^{n-1} \times \mathrm{M} \tag{1}$$

является совершенным.

Рассмотрим пример.

Для $n = 5$: $\mathrm{M} = 2^5 - 1 = 31$, $N = 2^{5-1} \times 31 = 496$.

Известно, что число является совершенным в том случае, если оно равно сумме своих собственных делителей.

Выполним проверку для числа $N = 496$:

Делители числа 496: 1, 2, 4, 8, 16, 31, 62, 124, 248.

Сумма делителей: $1 + 2 + 4 + 8 + 16 + 31 + 62 + 124 + 248 = 496$.

Следовательно, можно сделать вывод, что число 496 – совершенное.

Позже, в 1644 году, математик Марен Мерсенн, в чью честь названы исследуемые числа, составил список таких значений n, при которых, как он считал, числа вида $2^n - 1$ окажутся простыми. Некоторые из них в будущем оказались неверными в силу недостатка вычислительных мощностей его времени, однако его работа способствовала изучению математической науки в данном направлении.

Экспоненциальный рост.

Ранее было определено, что экспоненциальный рост характерен для величины, которая увеличивается пропорционально своему текущему значению согласно заданной функции

$$f(t) = a \times b^t \tag{2}$$

Значения простых чисел Мерсенна задаются функцией $2^n - 1$, следовательно, они экспоненциально зависят от n.

Это можно увидеть, рассмотрев следующие примеры:

$$\begin{gathered} \mathrm{M}_3 = 2^3 - 1 = 7; \\ \mathrm{M}_{31} = 2^{31} - 1 = 2{,}147{,}483{,}647; \\ \mathrm{M}_{61} = 2^{61} - 1 = 2{,}305{,}843{,}009{,}213{,}693{,}951. \end{gathered} \tag{3}$$

Методы поиска простых чисел Мерсенна.

На текущий момент основным способом проверки чисел на простоту является *тест Люка-Лемера*, его же называют наиболее эффективным. Данный метод основан на рекуррентной последовательности, задаваемой формулой

$$S_k = \left(S_{k-1}^2 - 2\right) mod M_n \tag{4}$$

при $S_0 = 4$.

Это значит, что каждый новый элемент последовательности будет равен остатку от деления разности квадрата предыдущего числа и двойки на проверяемое число. Если в результате вычисления последовательности одним из её членов окажется 0, это будет являться подтверждением верности нашего утверждения о том, что исследуемое число – простое число Мерсенна.

Используем тест Люка-Лемера, чтобы убедиться, что 31 действительно является простым числом Мерсенна.

$$S_1 = (4^2 - 2) mod 31 = (16 - 2) mod 31 = 14 mod 31 = 14;$$
$$S_2 = (14^2 - 2) mod 31 = (196 - 2) mod 31 = 194 mod 31 = 6;$$
$$S_3 = (6^2 - 2) mod 31 = (36 - 2) mod 31 = 34 mod 31 = 3;$$
$$S_4 = (3^2 - 2) mod 31 = (9 - 2) mod 31 = 7 mod 31 = 7;$$
$$S_5 = (7^2 - 2) mod 31 = (49 - 2) mod 31 = 47 mod 31 = 0. \quad (5)$$

В результате мы получили, что пятый член последовательности равен нулю, следовательно, доказали, что 31 – простое число Мерсенна.

С каждым новым таким числом количество знаков в них растет. Последнее, пятьдесят второе, обнаруженное число содержит в себе 41 024 320 цифр. Это значит, что проверка следующих чисел по алгоритму требует значительных вычислительных ресурсов и еще большего количества времени.

Для решения этой проблемы используется *метод распределенных вычислений*. Наиболее широко он применяется международным проектом GIMPS (Great Internet Mersenne Prime Search), созданным для централизованного поиска простых чисел Мерсенна в 1996 году. Данный метод заключается в распределении подзадач между компьютерами, что позволяет избежать создания суперкомпьютеров и значительно ускоряет обработку данных. Другими словами, пока одни компьютеры выполняют проверку числа тестом Люка-Лемера, другие занимаются факторизацией, поиском делителей (факторов) исследуемого числа для анализа его структуры. Более того, такой метод позволяет каждому желающему внести свой вклад вне зависимости от мощности конкретного компьютера.

Практическое применение.

Известно, что простые числа Мерсенна широко применяются, когда существует потребность в генерации числовых последовательностей, в частности, длинных, таких как секретные коды в сферах экономики и кибербезопасности.

Рассмотрим пример создания такой уникальной последовательности.

Выберем несколько случайных простых чисел Мерсенна в качестве основы для генерируемого кода. Возьмем 7, 31 и 127.

Следующим шагом могут быть любые математические операции над выбранными числами, такие как сложение и умножение. Проведем их: $31 \times 127 - 7 = 3930$.

Для повышения сложности допускается добавления прочих символов, например, букв латинского алфавита. Теперь код выглядит следующим образом: V7D – 3930.

Был рассмотрен простейший случай использования простых чисел Мерсенна, однако при работе с банковскими системами и коммуникациями могут использоваться гораздо более сложные комбинации.

Ключевым преимуществом изучаемых чисел в области шифрования является удобство для компьютерных вычислений, так как каждое из них в двоичной системе представляет собой ряд единиц. Например, число 31 будет иметь вид 11111.

Это и другие свойства простых чисел Мерсенна используются в криптографии с открытым ключом. Её суть заключается в существовании двух ключей: открытого и закрытого. Первым может пользоваться только владелец, а второй применяется всеми пользователями для шифрования или проверки цифровой подписи.

Наиболее широко распространен алгоритм RSA. В нем произведение двух простых чисел Мерсенна дает модуль

$$p = n_1 \times n_2 \quad (5)$$

который используется в открытом и закрытом ключах.

Например, пусть $n_1 = 2^{17} - 1 = 131071$ и $n_2 = 2^{19} - 1 = 524287$.

Вычисляем модуль $p = n_1 \times n_2 = 131071 \times 524287 = 68718952449$.

Далее необходимо выбрать число e, взаимно простое с функцией Эйлера $\varphi(n) = (p_1 - 1)(p_2 - 1) = 131070 \times 52426 = 68717451520$. Возьмем часто используемое $e = 65537$.

Для вычисления закрытого ключа необходимо взять такое d, что

$$d \times e \equiv 1 mod \varphi(n). \quad (6)$$

Выполняем подстановку: $d \times 65537 = 1 mod 68717451520$.

В результате вычислений получаем $d = 27551547937$.

Сформированные ключи будут иметь следующий вид:

Открытый ключ $(e, p) = (65537, 68718952449)$.

Закрытый ключ $(d, p) = (27551547937, 68718952449)$.

Владелец открытого ключа может зашифровать сообщение s:

$$c = s^e mod p. \quad (7)$$

Только тот, у кого есть закрытый ключ может его расшифровать:

$$s = c^d mod p. \quad (8)$$

Метод Диффи-Хеллмана – еще один криптографический алгоритм, позволяющий найти практическое применение простым числам Мерсенна. С его помощью пользователи имеют возможность создать общий секретный ключ. Особенно это может быть актуально, если до этого между пользователями не осуществлялся обмен информацией.

Для реализации этого алгоритма пользователи выбирают большое простое число n и небольшое число, основание g, а также собственные секретные числа a и b для генерации общего ключа.

Пусть $n = M_{13} = 8191$ и $g = 2$. Сторона 1 выбирает $a_1 = 6$, а сторона 2 — $a_2 = 15$.

Открытые ключи вычисляются по следующей формуле:

$$A = g^a mod n \quad (9)$$

После обмена получившимися значениями участники создают ключ, который будет известен обоим.

Сторона 1 вычисляет общий ключ, используя A_2 и своё секретное число a_1:

$$K = A_2^{a_1} mod n \quad (10)$$

Сторона 2 делает то же самое с использованиемA_1 и своего секретного числа a_2:

$$K = A_1^{a_2} mod n \quad (11)$$

Благодаря свойству $(g^a)^b \equiv (g^b)^a mod n$, обе стороны получают одинаковый общий ключ K.

Несмотря на простоту и эффективность использования простых чисел Мерсенна в шифровании, они имеют по крайней мере один существенный недостаток. В силу их небольшого количества и редкости на числовой прямой, существует относительно ограниченное количество возможных комбинаций, пригодных для использования в криптографии, поэтому их нельзя считать универсальными в применении.

Значение в математике.

Простые числа Мерсенна – ключевой элемент в исследовании свойств чисел. Их изучение вдохновляет ученых на развитие новых вычислительных методов и поиск математических закономерностей, таких как связь с совершенными числами. Более того, благодаря открытию чисел Мерсенна, был разработан алгоритм Люка-Лемера, который в последствии стал фундаментом для их поиска.

Как было упомянуто, все простые числа Мерсенна представлены в двоичной системе в виде единиц. Такая структура позволяет в разумные сроки обрабатывать даже самые крупные значения, в частности, в рамках криптографических вычислений.

Тем не менее, есть ряд вопросов по теме, на которые математики пока не могут ответить. Остаётся неизвестным, бесконечна ли последовательность чисел Мерсенна, а также существует ли

закономерность их роста. Помимо этого, в настоящее время проводятся исследования относительно связи простых чисел Мерсенна с другими типами простых чисел, таких как числа Ферма, имеющих вид $2^{2^n}+1$. Существует предположение, что тот факт, что каждое простое число Мерсенна связано с совершенным, обязательно четным, может являться ключом к разгадке существования нечетного совершенного числа.

Список использованных источников:

1. Простые числа Мерсенна [Электронный ресурс]. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/prostye-chisla-mersenna/viewer. – Дата доступа: 30.03.2025.

2. О простых числах в информационной безопасности [Электронный ресурс]. – URL: http://textovod.com/unique/link?url=https%3A%2F%2Fnsportal.ru%2Fap%2Flibrary%2Fdrugoe%2F2013%2F08%2F07%2Fo-prostykh-chislakh-v-informatsionnoy-bezopasnosti&key=83215977e9311b1ea15cbe4a20703915. – Дата доступа: 30.03.2025.

3. Первые шаги в мир больших чисел: простые числа [Электронный ресурс] / Хабр. – URL: https://habr.com/ru/articles/853816/. – Дата доступа: 30.03.2025.

UDC 511.17

MERSENNE PRIMES

Bondarovets V.V., Domankova V.V., students gr.473901

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics
Minsk, Republic of Belarus

Lobanok L.V. – Senior Lecturer at the Department of Higher Mathematics

Annotation. The article is devoted to Mersenne primes. It examines their exponential nature and their unique relationship to perfect numbers. The main methods of their search and practical directions of application of the object of research are considered separately, with specific examples. The importance of Mersenne primes in mathematical science is highlighted.

Keywords. Primes, perfect numbers, exponential nature of the Luc-Lemaire test, distributed computing, cryptography.

УДК 51.7

ЗАМЕЧАТЕЛЬНЫЕ КРИВЫЕ (В ПОЛЯРНЫХ КООРДИНАТАХ)

Боровик А.А., Новик У.А., студенты группы 473903

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель Лобанок Л.В. – ст. преподаватель каф. ВМ

Аннотация. Данная статья посвящена построению и исследованию формул замечательных кривых в полярной системе координат. Рассмотрены реальные образы, которые описывают замечательные кривые.

Ключевые слова. Полярная система координат, кривые в полярной системе координат, эллипс, декартов лист, лемниската Бернулли, кардиоида, спираль Архимеда.

Человек всегда находится в окружении линий: горизонт, линии суши, изгибы дорог, раковина улитки, траекториях движения в природе и технике. В математике их описывают алгебраическими уравнениями в декартовой системе координат, а также параметрическими и полярными уравнениями. Фридрих Энгельс утверждал, что математика изучает пространственные формы и количественные отношения реального мира. Хотя она во многом абстрактна, её фундаментальные исследования часто находят практическое применение, становясь частью повседневной жизни. Данная работа посвящена построению и исследованию формул замечательных кривых в полярной системе координат, а также рассмотрению реальных образов, которые они описывают.

Полярной системой координат является двумерная система, в которой положение точки на плоскости определяется расстоянием от фиксированной точки (полюса) и углом относительно фиксированного направления (полярной оси). Эта система широко применяется в различных областях науки, а также используется при работе с задачами, связанными с круговой и радиальной симметрией или вращательным движением.

В математике под замечательными кривыми понимаются геометрические кривые, обладающие особыми математическими свойствами или значимостью в историческом и прикладном аспектах.

Кривые классифицируются по порядку в зависимости от степени их алгебраического уравнения в декартовых координатах. К кривым первого порядка относятся прямые, к кривым второго порядка - эллипс, парабола, гипербола, пара пересекающихся действительных прямых, пара параллельных действительных прямых, мнимый эллипс, пара пересекающихся мнимых прямых, пара параллельных мнимых прямых, пара совпавших прямых. Декартов лист, локон Аньези, циссоида, строфоида – это кривые третьего порядка. Лемниската Бернулли, овалы Кассини, конхоида, улитка Паскаля, кардиоида, розы относятся к кривым четвёртого порядка. Также существуют трансцендентные кривые, то есть кривые, которые не являются алгебраическими, к ним относятся спираль Архимеда и циклоида.

Эллипс — это кривая второго порядка, представляющая собой множество точек плоскости, сумма расстояний от которых до двух заданных точек (фокусов) является постоянной величиной. Это свойство формулируется следующим образом:

$$|F_1M| + |F_2M| = 2a \quad (1),$$

где — F_1, F_2 фокусы эллипса; 2a — большая ось эллипса.

Эллипс был изучен ещё в Древней Греции. Менехм впервые ввёл понятие эллипса, исследуя сечения конуса. Позже Аполлоний Пергский детально изучил его свойства и ввёл современное название. В XVII веке Исаак Ньютон доказал, что планеты движутся по эллиптическим орбитам, что стало основой небесной механики.

В полярных координатах уравнение эллипса, фокус которого находится в начале координат, записывается в виде:

$$r = \frac{\rho}{1-eco} \quad (2),$$

где $p = \frac{b^2}{a}$ — фокальный параметр эллипса; $e = \frac{c}{a} = \frac{\sqrt{a^2-b^2}}{a}$ — эксцентриситет эллипса.

Метод построения эллипса: на плоскости отмечают фокусы F_1 и F_2, определяя центр эллипса O как середину их отрезка. Через O проводят взаимно перпендикулярные оси. Затем строят две концентрические окружности с радиусами, равными половинам большой и малой осей эллипса.

Разделяя окружности на равные угловые интервалы, проводят лучи через O, находят точки пересечения с окружностями и строят перпендикуляры к соответствующим осям. Точки пересечения этих перпендикуляров формируют эллипс, который затем обводят плавной линией. Построение эллипса изображено на рисунке 1.

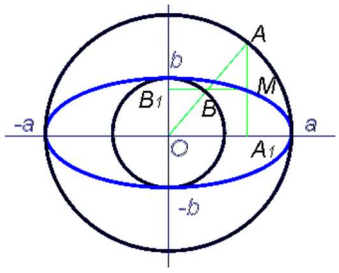


Рисунок 1 – Построение эллипса

Эллипсы широко встречаются в природе и технике. Согласно законам Кеплера, орбиты планет Солнечной системы представляют собой эллипсы с Солнцем в одном из фокусов. Это же справедливо для орбит спутников и других небесных тел. В оптике эллиптические зеркала используются для фокусировки световых лучей, поскольку свет, исходящий из одного фокуса эллипса, после отражения собирается в другом фокусе. В механике эллиптические зубчатые колёса применяются для передачи вращательного движения с переменной скоростью. В архитектуре эллиптические арки и купола обеспечивают равномерное распределение нагрузки, что повышает устойчивость конструкций.
Декартов лист- линия, которая состоит из петли и двух бесконечных ветвей.
В полярных координатах уравнение Декартового листа имеет вид:

$$r = \frac{3asin\varphi cos}{sin\varphi^3 + cos\varphi^3} \quad (3),$$

где r — радиус-вектор;φ— полярный угол; a — параметр, определяющий размер кривой.
Кривая была впервые исследована Рене Декартом в 1638 году, который построил её петлю в первом координатном угле и предположил симметричное повторение в остальных квадрантах, назвав её "цветком жасмина". В 1692 году Христиан Гюйгенс представил современное описание этой кривой.
Для построения Декартова листа в полярных координатах необходимо выполнить следующие шаги: необходимо задать значения угла φ в диапазоне от 0 до 2π с определенным шагом. Затем для каждого значения φ следует рассчитать соответствующее значение r по приведенной выше формуле. Далее необходимо нанести на полярную координатную плоскость точки с координатами (r, φ). Для завершения надо соединить полученные точки плавной линией, формируя кривую. Построение Декартового листа изображено на рисунке 2.

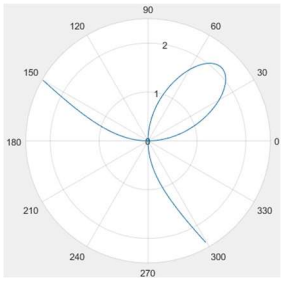


Рисунок 2 – Построение Декартового листа

Форма Декартова листа напоминает петлю или каплю. Хотя прямая практическая применимость этой кривой ограничена, ее изучение способствует пониманию свойств алгебраических кривых и их геометрических характеристик. В математическом моделировании и теоретических исследованиях Декартов лист используется для демонстрации особенностей кривых третьего порядка и их поведения в различных системах координат.
Лемниската Бернулли — это плоская алгебраическая кривая, представляющая собой геометрическое место точек, для которых произведение расстояний до двух фиксированных точек (фокусов) постоянно и равно квадрату половины расстояния между фокусами. В полярных координатах её уравнение имеет вид:

$$r^2 = 2c^2 cos2\varphi \quad (4),$$

где r — радиус-вектор; φ — полярный угол; c – параметр, связанный с расстоянием между фокусами лемнискаты.

Название «лемниската» происходит от латинского *lemniscus* («лента», «повязка») и связано с украшениями победителей в Древней Греции и Риме. Кривая названа в честь Якоба Бернулли, который описал её уравнение в 1694 году. Ранее, в 1680 году, Джованни Кассини изучал похожие кривые — овалы Кассини.

Метод построения лемнискаты Бернулли основан на геометрическом определении лемнискаты: она является множеством точек, для которых произведение расстояний до двух фокусов постоянно. Первоначально следует определить фокусы $F_1(-c, 0)$ и $F_2(c, 0)$. Затем требуется выбрать несколько точек на плоскости и проверить, удовлетворяют ли они условию $PF_1 \times PF_2 = 2c$, где P – любая точка лемнискаты. Для следующего шага необходимо выбрать несколько значений угла φ, вычислить расстояние r по формуле в полярных координатах, при помощи циркуля отложить полученные значения r от начала координат вдоль соответствующих углов и соединить построенные точки плавной линией. Построение лемнискаты Бернулли изображено на рисунке 3.

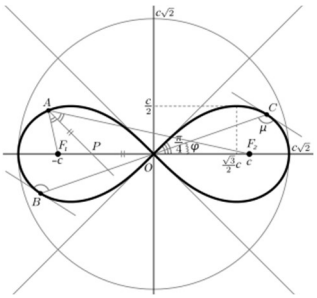


Рисунок 3 – Построение лемнискаты Бернулли

Лемниската Бернулли применяется в различных областях. В транспортной инфраструктуре она используется для проектирования плавных закруглений путей. В инженерии её форма применяется в кулачковых механизмах для равномерного движения. В физике она моделирует траектории частиц и колебательные процессы. Эта кривая служит важной моделью в науке и технике.

Кардиоида — это плоская кривая, форма которой напоминает сердце. Она является частным случаем эпициклоиды и образуется при катании окружности по внешней стороне другой неподвижной окружности того же радиуса.

В полярной системе координат кардиоида описывается уравнением:

$$r = 2a(1 - cos\varphi) \quad (5),$$

где r — радиус-вектор; φ — полярный угол; a— параметр, определяющий размер кривой.

Впервые кардиоида была описана французским математиком Луи Карре в 1705 году. Название "кардиоида" (от греческого "καρδία" — сердце) было предложено в 1741 году Джованни Сальвемини ди Кастильоне. Независимо от них, кривую изучал голландский математик Йохан Коерсма в том же году.

Для построения кардиоиды можно воспользоваться методом катящейся окружности. Представьте окружность радиуса a, которая катится без проскальзывания по внешней стороне другой неподвижной окружности того же радиуса. Если зафиксировать точку на границе катящейся окружности, её траектория при движении будет описывать кардиоиду.

Альтернативный способ построения основан на использовании уравнения в полярных координатах. Для этого необходимо задать значения угла φ в диапазоне от 0 до 2π с определённым шагом, затем вычислить соответствующие значения радиус-вектора r по формуле $r = 2a(1 - cos\varphi)$. После этого точки с координатами (r, φ) наносятся на полярную координатную плоскость и соединяются плавной линией, формируя кардиоиду. Построение кардиоиды изображено на рисунке 4.

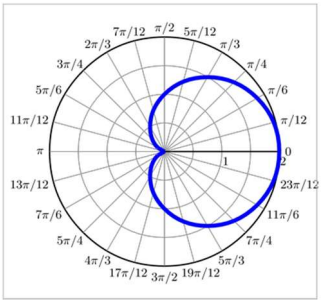


Рисунок 4 – Построение кардиоиды

Кардиоида встречается как в науке и технике, так и в природе и искусстве. В оптике кардиоидальные отражатели применяются для фокусировки световых лучей, а в акустике микрофоны с такой диаграммой направленности уменьшают уровень шума. В радиотехнике антенны кардиоидной формы обеспечивают направленный приём сигналов, снижая помехи. В гидродинамике эта кривая используется в конструкции улиток центробежных компрессоров для оптимального потока жидкости или газа. В природе кардиоидные очертания можно заметить в морских раковинах, волнах и формах растений. В архитектуре и дизайне кардиоидные структуры применяются при создании куполов, сводов и декоративных элементов.

Спираль Архимеда — это плоская кривая, описываемая точкой, которая равномерно движется вдоль луча от фиксированного центра, в то время как сам луч равномерно вращается вокруг этого центра. Спираль Архимеда была обнаружена ученым в III веке до н.э. в ходе опыта с компасом. Он равномерно тянул стрелку, одновременно поворачивая сам компас по часовой стрелке. В результате получилась кривая в виде спирали, каждый виток которой смещался на такую же величину, что и угол поворота компаса, а расстояние между соседними витками оставалось неизменным. В полярных координатах уравнение спирали Архимеда имеет вид:

$$r = a\varphi \tag{6},$$

где r – расстояние от начала координат (полюса) до точки на спирали; a – постоянный коэффициент, определяющий расстояние между витками спирали; φ – полярный угол.

Чтобы построить спираль Архимеда необходимо начертить окружность и разделить её на 12 равных частей. Затем следует провести горизонтальную линию и также разделить её на 12 равных отрезков. Следующим шагом является начертание вспомогательной окружности с центром в исходной точке так, чтобы каждая окружность пересекала горизонтальную линию в точках, соответствующих её номеру. Далее требуется обозначить точки пересечения вспомогательных окружностей с радиусами, проведёнными через ранее отмеченные деления окружности. Для завершения построения спирали Архимеда необходимо соединить полученные точки плавной линией. Построение спирали Архимеда изображено на рисунке 5.

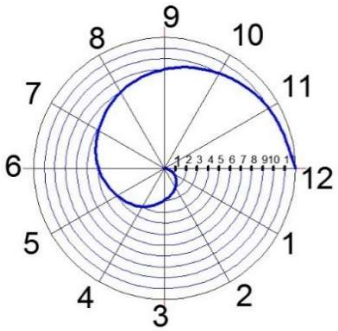


Рисунок 5 – Построение спирали Архимеда

Спираль Архимеда встречается как в природе, так и в различных сферах техники, архитектуры и биологии. В природе её можно увидеть в раковинах улиток, спиральных галактиках, водоворотах и молекуле ДНК, в архитектуре – в винтовых лестницах. Спираль Архимеда описывает формы многих явлений и объектов, связанных с равномерным увеличением или уменьшением расстояния от центра при вращении.

В данной работе были рассмотрены известные кривые в полярной системе координат, их уравнения, способы построения и области применения. Изученные кривые, включая спираль Архимеда, лемнискату Бернулли, эллипс, Декартов лист и кардиоиду, обладают уникальными свойствами, востребованными в различных научных и технических сферах. Исследование этих кривых

способствует более глубокому пониманию математических закономерностей и их практическому использованию. Их изучение имеет значение как для фундаментальной математики, так и для инженерии, архитектуры и дизайна.

Список использованных источников:

1. Эволюция современной науки: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. (25 июля 2016 г., г. Пермь): в 3 ч. Ч. 3. — Уфа: АЭТЕРНА, 2016. — 232 с.

2. Прокин Ю. М. Практическое применение свойств некоторых математических кривых // Научно-методический электронный журнал «Концепт». — 2017. — Т. 39. — С. 2011–2015.

3. Жулин А. И., Козырев А. С. Замечательные кривые в полярной системе координат и их компьютерное исследование [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/7330/s011-011.pdf?sequence=1. – Дата доступа: 27.03.2025.

4. Блинова И.В., Попов И.Ю. Кривые, заданные параметрически и в полярных координатах. Учебное пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2017. – 56 с.

UDC 51.7

REMARKABLE CURVES (IN POLAR COORDINATES)

Borovik A.A., Novik U.A., students of group 473903

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Scientific supervisor Lobanok L.V. – senior lecturer, Department of Higher Mathematics

Annotation. This article is devoted to the construction and study of formulas for remarkable curves in the polar coordinate system. Real images describing remarkable curves are considered.

Keywords. Polar coordinate system, curves in the polar coordinate system, ellipse, Cartesian leaf, Bernoulli's lemniscate, cardioid, Archimedes' spiral.

УДК 512.624.95

КЛЕТОЧНЫЕ АВТОМАТЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Елаш Н.Д., Ефимчик К.П., студенты гр.424403

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Примичева З.Н. – *канд. физ.-мат. наук*

Аннотация. Данная работа посвящена исследованию клеточных автоматов и их применению. Изучены свойства клеточных автоматов, построены некоторые одномерные и двумерные клеточные автоматы в среде разработки Visual Studio на языке программирования C++, рассмотрено их применение в различных сферах нашей жизни.

Ключевые слова. Дискретная динамическая модель, клеточный автомат, решетка, клетка, состояние, правила 30 и 110, окрестности клеток фон Неймона и Мура, игра "Жизнь", криптография, компьютерная графика, моделирование.

Введение. Клеточные автоматы (КА) – дискретная динамическая модель, представляющая собой сетку произвольной размерности, каждая клетка которой в любой момент времени может принимать одно из конечного множества состояний, для которой определено правило перехода клеток из одного состояния в другое. Дискретность КА заключается в зависимости его поведения от поведения отдельных его клеток, которые тоже являются автоматами, а динамичность состоит в наборе возможных состояний и правил перехода клеток из одного состояния в другое. Поэтому клеточные автоматы являются в информатике аналогом физического понятия «поля» и представляют собой «виртуальные миры», в которых множество клеток, как клетки в таблице, живут по простым правилам и меняют своё состояние в зависимости от соседей.

Основная часть. Клеточные автоматы в общем случае характеризуются следующими свойствами:

1) изменения значений всех клеток происходят одновременно после вычисления нового состояния каждой клетки решетки;

2) решетка является однородной, в которой невозможно отличить никакие два места на решетке по ландшафту;

3) взаимодействия клеток локальны и только клетки окрестности, как правило, соседние, способны влиять на данную клетку;

4) множество состояний клетки конечно.

Одномерный клеточный автомат — это цепочка клеток (одномерный массив), в которой для любой из них, кроме крайних, имеется по два соседа. Для устранения краевых эффектов решетка «заворачивается» в тор, что позволяет для всех клеток автомата использовать следующее соотношение

$$g_i(t+1) = f(g_i(t)),\ g_i(t) \in N(i),$$

где f – функция переходов клетки; $g_i(t+1)$ – состояние i –ой клетки в следующий момент времени; $g_i(t)$ – состояние i–ой клетки в данный момент времени, $N(i) = \{g_i(t)\}$.– окрестность определенного типа для анализируемой клетки.

Самое простое изменение одномерного клеточного автомата по времени обычно представляет собой «пирамиду». Генерация одномерного клеточного автомата может происходить по разным алгоритмам, одними из самых распространённых которых являются правила 30 и 110.

Правило 30 ($00011110_2=30_{10}$) представлено на рисунке 1 и часто используется в криптографии.



Рисунок 1 – Правила перехода клеток в следующее состояние по правилу 30

Правило 110 ($01101110_2=110_{10}$) – Тьюринг-полный может моделировать любую вычислительную машину (рисунок 2).



Рисунок 2 – Правила перехода ячеек в следующее состояние по правилу 110

На рисунке 3 можно видеть примеры одноклеточных автоматов, построенных по различным правилам.

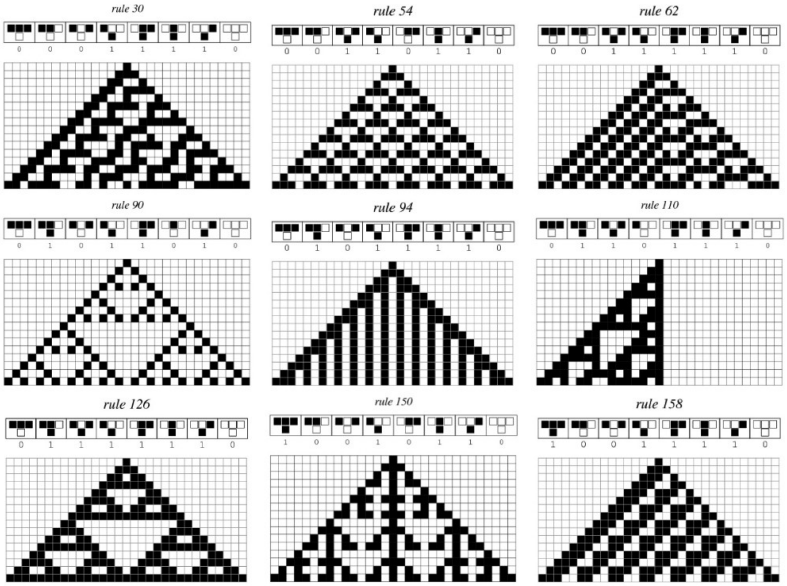


Рисунок 3 – Примеры одноклеточных автоматов, построенных по разным правилам

Нами построен один из одномерных клеточных автоматов на языке программирования C++ в среде разработки Visual Studio (рисунок 4).

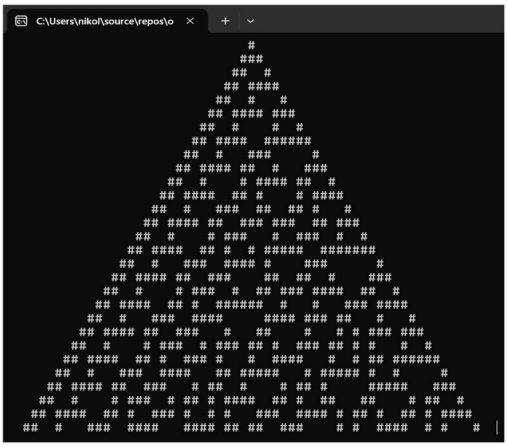


Рисунок 4 – Результат работы кода

Для самостоятельного построения одномерного клеточного автомата по разным правилам можно использовать интернет-ресурс https://elife-asu.github.io/wss-modules/modules/1-1d-cellular-automata/.

Двумерный клеточный автомат представляет собой решетку клеток (двумерный массив), в которой каждая клетка имеет восемь соседей. Для устранения краевых эффектов решетка также «заворачивается» в тор. Имеет место следующее соотношение для всех клеток автомата:

$$g_{ij}(t+1) = f(g_{ij}(t)),\ g_{ij}(t) \in N(i,j),$$

где $g_{ij}(t+1)$ — состояние клетки (i,j) в следующий момент времени, $g_{ij}(t)$ — состояние клетки (i,j) в данный момент времени, $N(i,j) = \{g_{ij}(t)\}$ – окрестность определенного типа для анализируемой клетки (i,j).

Наиболее часто используемыми окрестностями клеток в двумерных моделях клеточных автоматов являются окрестности фон Неймана и Мура.

Окрестностью фон Неймана $n-$го порядка клетки (i,j) называется совокупность клеток в решетке, имеющих общую сторону с данной клеткой, которая определяется по правилу

$$N_N^n(i,j) = \{g_{\mathrm{kl}}: |i-k| + |j-l| \le n\}, n = 1,2.$$

Окрестность фон Неймана клетки представляет собой правильный ромб, для которого радиус описанной окружности изменяется на одну клетку с каждым порядком (рисунок 5).



Рисунок 5 – Окрестность фон Неймана первого (синим) и второго (красным) порядков

Окрестностью Мура $n-$го порядка клетки (i,j) называется совокупность клеток в решетке, имеющих общую вершину с данной клеткой, которая определяется по правилу

$$N_M^n(i,j) = \{g_{\text{kl}}: |i-k| \le n, |j-l| \le n\}, n = 1,2.$$

Окрестность Мура (рисунок 6) представляет собой квадрат, для которого радиус вписанной окружности изменяется на одну клетку с каждым порядком (рисунок 6). Окрестность Мура порядка n в двумерном случае представляет собой квадрат со стороной $2n+1$.



Рисунок 6 – Окрестность Мура первого (синим) и второго (красным) порядков

Наиболее известным из двумерных клеточных автоматов является автомат, моделирующий игру «Жизнь» (рисунок 7). В этой игре живая клетка умирает, если число ее живых соседей меньше двух; остается жить, если число ее живых соседей равно два или три; умирает, если ее живых соседей больше трех; оживает с тремя живыми соседями. В этой игре клетка оживает, если у неё ровно три соседа, и выживает, если их два или три — и таких простых правил достаточно, чтобы наблюдались и стабильные структуры, и «пожиратели», и даже целые «фабрики», производящие движущиеся объекты. В «Жизни» существует большой количество различных объектов.

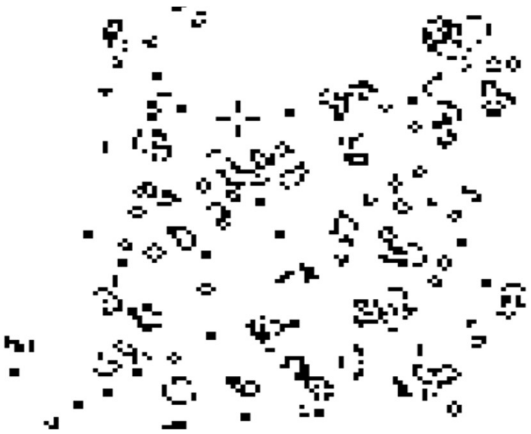


Рисунок 7– вид игры «Жизнь»

Также с помощью двумерных клеточных автоматов можно создавать лабиринты и многое другое (рисунок 8).

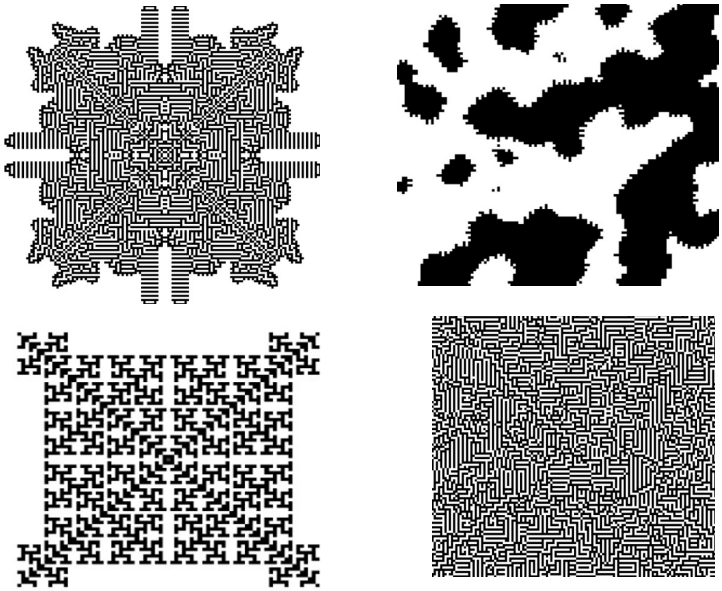


Рисунок 8 – Примеры генерации двумерных клеточных автоматов

Нами построен код двумерного клеточного автомата в среде разработки Visual Studio на язык программирования C++, который случайный образом генерирует лабиринт (рисунок 9).

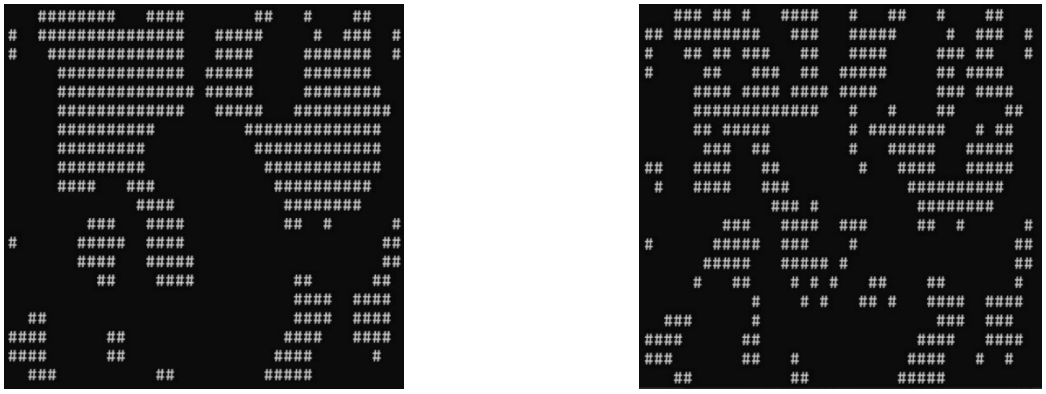


Рисунок 9 – Пример работы кода

Двумерные клеточные автоматы находят широкое применение в различных научных областях таких, как моделирование физических процессов, исследование биологических систем, анализ химических реакций, а также они используются в технологиях для генерации псевдослучайных чисел в криптографии и в процедурной генерации в области компьютерной графики, в социальных науках — для изучения потоков транспорта и развития городов, в игровой индустрии — для создания динамичных игровых миров, в цифровом искусстве — для генерирования визуальных инсталляций. Их способность воспроизводить сложные поведенческие модели систем через простые локальные взаимодействия делает клеточные автоматы ценным инструментом для междисциплинарных исследований и практических приложений.

Клеточные автоматы (КА) активно применяются в криптографии, начиная с работ Вольфрама по созданию генераторов псевдослучайных чисел (ГПСЧ). Современные исследования демонстрируют их эффективность в разработке различных криптографических примитивов, включая потоковые и блочные шифры, хеш-функции, схемы шифрования с открытым ключом и протоколы обмена секретами. Ключевые преимущества КА в этой области — присущий им параллелизм, обеспечивающий высокую производительность аппаратных реализаций, и способность создавать сложную динамику, удовлетворяющую критериям Шеннона (путаница и диффузия), делают их перспективным инструментом для создания устойчивых к криптоанализу систем. Основная ценность КА заключается в их способности естественным образом реализовывать криптографические преобразования, сочетая вычислительную эффективность с криптографической стойкостью (рисунки 10, 11).

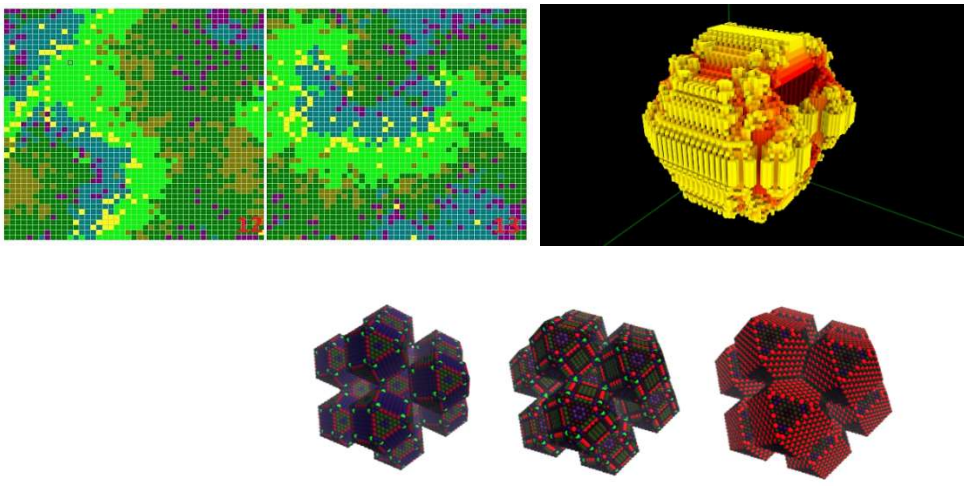


Рисунок 10 – Примеры сложных клеточных автоматов



Рисунок 11 – Пример формирования узора по механизму клеточного автомата (правило 30)

Заключение. Таким образом, клеточные автоматы представляют собой мощный инструмент для моделирования сложных систем благодаря своей способности генерировать нетривиальное поведение из простых локальных правил. Исследование одномерных и двумерных КА демонстрирует их широкое применение от криптографии (генерация псевдослучайных чисел, создание шифров) до моделирования физических, химических, биологических и социальных процессов. Благодаря своей природе, КА обеспечивают высокую производительность и способность воспроизводить эмерджентные свойства, что делает их незаменимыми в междисциплинарных исследованиях. Дальнейшее развитие методов на основе КА открывает перспективы для создания более эффективных алгоритмов и устойчивых криптографических систем.

Список использованных источников:

1. *Пайтген Х.О., Рихтер П.Х. Красота фракталов. Образы комплексных динамических систем. — М.: Мир. — 1993.— 176 с.*
2. *Nagel, K. A cellular automaton model for freeway traffic / K. Nagel, M. Schreckenberg // J. Physique I France. – 1992. – № 2. – P. 2221–2229.*
3. *10 удивительно зрелищных простейших клеточных автоматов // Хабр. – 2023.*
4. *Manzoni, L. Combinatorial Designs and Cellular Automata: A Survey / L. Manzoni, L. Mariot, G. Menara // arXiv. – 2025. – 10-23 p.*
5. *Простейшие клеточные автоматы и их практическое применение // Хабр. – 2016.*
6. *Наумов, Л. Клеточные автоматы. Реализация и эксперименты / Л. Наумов, А. Шалыто. – СПб. : Университет СПбГИТМО (ТУ) – 3-10 с.*

UDC 512.624.95

CELLULAR AUTOMATA AND THEIR APPLICATIONS

Yelash N.D., Yefimchyk K.P. *students group 424403*

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics
Minsk, Republic of Belarus

Primicheva Z.N. – PhD in Physics and Mathematics

Annotation. This work is devoted to the study of cellular automata and their application. The properties of cellular automata are studied, some one-dimensional and two-dimensional cellular automata are built in the Visual Studio development environment in the C++ programming language, and their application in various spheres of our lives is considered.

Keywords. Discrete dynamic model, cellular automaton, lattice, cell, state, rules 30 and 110, surroundings of von Neumon and Moore cells, the game "Life", cryptography, computer graphics, modeling.

УДК 512.624.95

ИСТОРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ШИФРОВАНИЯ: КРИПТОСИСТЕМЫ ХИЛЛА И КАРДАНО

Державская Е. В., Линник М. В

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Малышева О. Н. – канд. физ.-мат. наук

Аннотация. В статье рассматриваются криптосистемы Хилла и Кардано, их принципы работы и особенности. Представлен способ их комбинирования для создания более надёжного метода шифрования и построения криптографической хеш-функции. Описана реализация разработанной на основе этого способа хеш-функции на языке C++, включающая поддержку расширенного алфавита.

Ключевые слова. Криптосистемы Хилла и Кардано, хеш-функция.

Первые методы шифрования появились около четырёх тысяч лет назад, и с этого времени они, меняясь и развиваясь, помогали людям безопасно передавать важные сведения. Статья посвящена одним из самых популярных таких методов: криптосистемам Хилла и Кардано.

Криптосистема Кардано [1], представляющая собой метод перестановки символов в сообщении с помощью квадратной (иногда прямоугольной) решётки размером $2m * 2k$, была разработана итальянским ученым XVI века Джероламо Кардано и получила в его честь своё название. Четверть ячеек в решётке должна быть вырезана таким образом, чтобы при наложении её на чистый лист бумаги четырьмя возможными способами, определёнными заранее, вырезы полностью покрывали всю площадь листа. Передаваемое таким способом сообщение должно содержать столько же букв, сколько в решётке ячеек: $4m * k$. Буквы сообщения последовательно вписываются в вырезы решётки, заполняя буквенную матрицу, каждый столбец которой записывается в строку. Иногда пустые поля заполняются случайными символами, и такой способ шифровки текста называют «решётка Кардано с мусором», при этом дешифровать текст, записанный таким образом, не имея решётки-ключа, становится гораздо сложнее. К тому же этот способ позволяет не подбирать фразы, содержащие определённое количество букв, что также значительно упрощает процесс зашифровки.

Гораздо позже, в 1929 году, американским математиком Лестером Хиллом был изобретён первый шифр, построенный на синтезе модульной арифметики и линейной алгебры [1]. Все вычисления производятся на множестве целых $Z/m\,Z$, являющемся кольцом, на котором определены операции сложения, вычитания и умножения по модулю m.

Опишем процесс шифрования сообщения методом Хилла. Сначала сообщение разбивается на блоки по n символов, то есть формируются векторы x. Зашифрованный текст получается умножением матрицы-ключа T на вектор x, при этом ключ должен быть обратимым, то есть для него существует $\text{матрица}T^{-1}$, такая что $T * T^{-1} = I$ (единичная матрица), по модулю m. Зашифровка текста является, по сути, линейным отображением в кольце $Z/m\,Z$ по модулю m. Расшифровывать текст нужно тоже блоками по n символов, умножая их на обратную по модулю m к ключу матрицу T^{-1}.

Предложенный нами метод шифрования состоит в комбинировании описанных криптосистем. Были созданы две его разновидности: одна для шифрования вручную, а другая для создания криптографической хеш-функции.

Комбинирование методов использует последовательное шифрование исходного сообщения методом Хилла, а затем – перемешивание полученного криптотекста методом Кардано с добавлением мусора. Поскольку этот способ использует больше одной криптосистемы, то даже в случае попадания одного из ключей «не в те руки» сообщение остаётся надёжно зашифрованным.

Криптографическая хеш-функция – это алгоритм, который принимает на вход сообщение и превращает его в уникальный массив фиксированного размера. Такой массив называется хешем, а сам процесс – хешированием. Для каждого сообщения алгоритм создаёт свой уникальный хеш. Если заменить в исходных данных хотя бы одну букву, хеш изменится до неузнаваемости. Ключевое свойство хеш-функции – необратимость. Тогда, используя метод Хилла, можно написать хеш-функцию, подобрав такую матрицу-ключ, обратной к которой не существует, что сделает процесс дешифровки невозможным.

Основная суть создания хеш-функции заключается в применении метода Хилла для преобразования входной строки в числовые представления, которые, в свою очередь, подвергаются дополнительному перемешиванию и суммированию для получения фиксированного хеш-значения.

Последующее применение решётки Кардано добавляет элемент перестановки и пространственного распределения в хеш-функцию, увеличивая итоговую эффективность шифрования. Полученный таким образом хеш невозможно дешифровать, если выполняется условие:

$$\text{НОД}(detT, m) \neq 1,$$

где $detT$ - определитель матрицы-ключа, m - данный модуль.

На языке программирования C++ мы разработали алгоритм создания хеш-функции, совмещающий оба криптографических метода. Разберём его ключевые моменты.

Мы добавили поддержку двух алфавитов (рисунок 1), а также специальных символов, так что у каждого символа имеется свой порядковый номер.

```
const std::string RALPHABET = "АБВГДЕЖЗИЙКЛМНОПРСТУФХЦЧШЩЪЫЬЭЮЯ_.,!";
const std::string EALPHABET = "ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ_.,!";
```

Рисунок 1 – Расширенные алфавиты для русского и английского языков

Также мы задали ключевые матрицы для методов Хилла и Кардано (рисунок 2). Матрица для метода Хилла, как было сказано ранее, не будет обратимой. Решётка Кардано представлена в виде матрицы нулей и единиц, где единицы — это прорези. Для ее использования были написаны функции отражения решётки по вертикали и горизонтали (рисунок 3).

```
// Ключевая матрица 8×8 для хеширования (используется в методе Хилла)
const int KEYHill[8][8] = {
    {2, 3, 1, 0, 8, 5, 7, 2},
    {1, 2, 5, 3, 4, 6, 2, 7},
    {4, 1, 2, 5, 3, 7, 6, 2},
    {3, 4, 6, 2, 7, 1, 5, 3},
    {5, 6, 3, 7, 2, 4, 1, 6},
    {2, 5, 4, 1, 1, 2, 3, 4},
    {7, 1, 2, 1, 3, 5, 4, 1},
    {10, 7, 6, 3, 1, 2, 5, 2}
};

// Решётка Кардано 4x4
const int KEYCardano[4][4] = {
    {0, 1, 0, 0},
    {0, 0, 0, 1},
    {0, 1, 0, 0},
    {1, 0, 0, 0},
};
```

Рисунок 2 – Ключевые матрицы для методов Хилла и Кардано

```
void mirrorVertical(int g[4][4]) {
    for (int i = 0; i < 4; ++i)
        for (int j = 0; j < 2; ++j)
            std::swap(g[i][j], g[i][3 - j]);
}

void mirrorHorizontal(int g[4][4]) {
    for (int i = 0; i < 2; ++i)
        for (int j = 0; j < 4; ++j)
            std::swap(g[i][j], g[3 - i][j]);
}
```

Рисунок 3 – Функции отражения решётки Кардано по вертикали и горизонтали

Функция хеширования методом Хилла (рисунок 4) шифрует переведённую в числовой вектор и дополненную до кратного восьми строку, обрабатывая её описанным нами методом. Следом за ней идёт функция перемешивания методом Кардано (рисунок 5), которая переставляет числа в векторе, дополнительно усложняя шифрование.

```cpp
// Хеширование методом Хилла
std::vector<int> hillHash(const std::string& text, const std::string& lang) {
    int MOD = (lang == "1") ? 36 : 30;
    std::vector<int> nums = textToNums(text, lang);
    if (nums.empty()) return {};

    std::vector<int> hashhill(HASH_SIZE, 0);

    // Обрабатываем вход по блокам по 8 чисел
    for (size_t i = 0; i < nums.size(); i += 8) {
        int x[8];
        for (int j = 0; j < 8; ++j)
            x[j] = nums[i + j];

        int result[8] = { 0 };
        for (int row = 0; row < 8; ++row) {
            for (int col = 0; col < 8; ++col) {
                result[row] += KEYHill[row][col] * x[col];
            }
            result[row] = abs(result[row] % MOD);
        }

        for (int j = 0; j < 8; ++j) {
            hashhill[j] = (hashhill[j] + result[j]) % MOD;
            hashhill[j + 8] = (hashhill[j + 8] * 2 + result[j]) % MOD;
        }
    }
    return hashhill;
}
```

Рисунок 4 – Функция шифрования методом Хилла

```cpp
// Функция Кардано возвращает вектор из 16 чисел
std::vector<int> cardano(const std::vector<int>& hillHash) {
    int matrix[4][4] = { 0 };  // Здесь будем хранить итоговые числа
    int g[4][4];
    memcpy(g, KEYCardano, sizeof(KEYCardano));

    int index = 0;
    for (int step = 0; step < 4; step++) {
        for (int i = 0; i < 4; ++i)
            for (int j = 0; j < 4; ++j)
                if (g[i][j] == 1)
                    matrix[i][j] = hillHash[index++];

        if (step % 2 == 0)
            mirrorVertical(g);
        else
            mirrorHorizontal(g);
    }


    std::vector<int> result;
    // Читаем матрицу столбцами
    for (int j = 0; j < 4; ++j)
        for (int i = 0; i < 4; ++i)
            result.push_back(matrix[i][j]);

    return result;
}
```

Рисунок 5 – Функция шифрования методом Кардано

На рисунке 6 продемонстрированы результаты работы полной программы. Покажем, что хеш-функция работает корректно: если дважды ввести одни и те же данные, получим одинаковый хеш, что говорит об его однозначности. Если даже незначительно изменить входные данные, например, ввести "ПРИВЕТ,_МИР" без восклицательного знака, то результат хеширования кардинально изменится.

```
Введите язык:
 1 - русский
 2 - английский
 Или нажмите 0, чтобы завершить работу программы:
1
Введите фразу (в верхнем регистре, без Ё, если ввод на русском, с _ вместо пробела): ПРИВЕТ,_МИР!
Hash8x8 (128 бит): [ 28 8 7 18 12 27 0 17 15 30 28 30 26 21 8 2 ]
Введите язык:
 1 - русский
 2 - английский
 Или нажмите 0, чтобы завершить работу программы:
1
Введите фразу (в верхнем регистре, без Ё, если ввод на русском, с _ вместо пробела): ПРИВЕТ,_МИР!
Hash8x8 (128 бит): [ 28 8 7 18 12 27 0 17 15 30 28 30 26 21 8 2 ]
Введите язык:
 1 - русский
 2 - английский
 Или нажмите 0, чтобы завершить работу программы:
1
Введите фразу (в верхнем регистре, без Ё, если ввод на русском, с _ вместо пробела): ПРИВЕТ,_МИР
Hash8x8 (128 бит): [ 14 6 33 14 12 25 26 11 1 24 26 26 26 15 6 32 ]
```

Рисунок 6 – Результаты работы программы

Криптосистемы Хилла и Кардано представляют собой два фундаментально различных, но исторически значимых подхода к обработке и защите данных. Объединение этих методов в рамках экспериментальной хеш-функции, представленной выше, выявляет потенциал таких систем в современных прикладных задачах, особенно в образовательной сфере, позволяя сформировать понимание того, как простые математические конструкции могут быть объединены в более сложные криптографические схемы, а также использованы в хешировании.

Список использованных источников:

1. Алферов А.П. Основы криптографии: Учеб. пособ. / А.П. Алферов, А.Ю. Зубов, А.С. Кузьмин [и др.]. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Гелиос АРВ, 2002.

2. Обзор шифра Хилла [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://habr.com/ru/articles/710890/. Дата доступа: 03.03.2025

UDC 512.624.95

HISTORICAL ENCRYPTION METHODS: HILL AND CARDANO CRYPTOSYSTEMS

Derzhavskaya E. V., Linnik M. V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Malysheva O. N. – PhD in Phisics and Mathematics, Associate Professor

Annotation. The article describes the Hill's and Cardano's cryptosystems, their principles of operation and features. A method of combining them is presented to create a more reliable encryption method and construct a cryptographic hash function. The implementation of the hash function developed on the basis of this method in the C++ language, including support for the extended alphabet, is described.

Keywords. Hill and Cardano cryptosystems, hash function.

УДК 51(0.062)

ОПТИМИЗАЦИЯ МАРШРУТИЗАЦИИ В КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРАДОКСА БРАЕССА И РАВНОВЕСИЯ ПО НЭШУ

Драко М. Д., студент гр.458301, Лесковский Е. Е., студент гр.458301

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Лущакова И.Н. – канд. физ.-мат. наук

Аннотация. Представлена математическая модель поведения эгоистичных пользователей при выборе между двумя точками доступа, где одна из них имеет фиксированную скорость передачи данных, а другая – переменную скорость с экспоненциальным затуханием при увеличении числа подключенных пользователей. Показано, как при некоординированном подключении возникает парадокс Браесса. Для распределения пользователей между точками доступа предложен способ поиска равновесия по Нэшу, использующий решение уравнения баланса. Проведен анализ пропускной способности сети и определено оптимальное распределение пользователей между точками доступа, обеспечивающее максимальную суммарную производительность сети.

Ключевые слова. Парадокс Браесса; равновесие по Нэшу; маршрутизация; компьютерные сети; пропускная способность; балансировка нагрузки; оптимизация маршрутов; теория игр, беспроводные сети.

Парадокс Браесса возникает при использовании пользователями эгоистичных игровых стратегий в различных сетевых моделях. Вначале рассмотрим это явление на примере транспортной сети, аналогичном примеру, представленному в статье [1].

Загруженность дорог — серьёзная проблема современных городов. Казалось бы, строительство новых магистралей должно её решить, но часто это лишь усугубляет ситуацию. Чем больше дорог, тем активнее люди пересаживаются на личные автомобили, а перераспределение потоков может увеличить время в пути для всех водителей.

Этот контр-интуитивный эффект в 1968 году описал немецкий математик Дитрих Браесс, и теперь он известен как *парадокс Браесса* [2] .

Предположим, что есть два города А и Б, между которыми проложены две дороги. Одна из них проходит через посёлок В, другая через посёлок Г (см. рисунок 1). Участок дороги А-В очень узкий и извилистый, поэтому время поездки по этому участку равно $T = \frac{X}{100}$, где X - количество машин, одновременно едущих по участку А-В. Участок В-Б проходит по многополосному шоссе, поэтому время поездки по нему всегда равно 45 минутам независимо от количества машин. Вторая дорога из А в Б, проходящая через посёлок Г, организована противоположным образом: участок А-Г является широкополосным шоссе с временем поездки 45 минут, а участок Г-Б является узкой дорогой с временем поездки $T = \frac{X}{100}$.

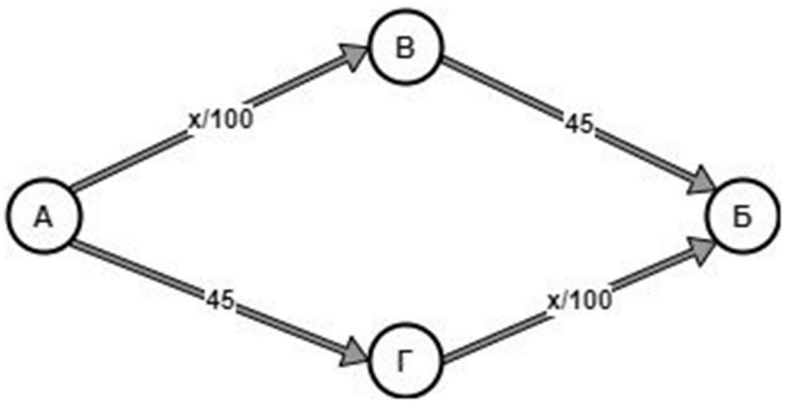


Рисунок 1 – Первоначальная схема транспортной сети между городами А и Б без дополнительного участка.

Рассмотрим случай, когда N=4000 водителей хотят доехать из города А в город Б. Если все водители решат поехать по первой дороге, через посёлок В, общее время поездки каждого водителя составит

$$T = \frac{4000}{100} + 45 = 40 + 45 = 85(\text{минут}).$$

Таким же будет время движения по второй дороге через посёлок Г, если все водители примут решение воспользоваться второй дорогой.

Если же половина водителей выберет дорогу А-В-Б, а другая половина – дорогу А-Г-Б, то общее время в пути каждого водителя сократится и составит

$$T_1 = \frac{2000}{100} + 45 = 20 + 45 = 65(\text{минут}), \text{либо} T_2 = 45 + \frac{2000}{100} = 45 + 20 = 65(\text{минут})$$

В этом случае система будет находиться в состоянии равновесия. Водители, стремясь сократить время поездки, будут распределяться поровну между дорогами. Это и будет равновесием по Нэшу [3]. Если же загруженность какой-то дороги возрастёт, то также возрастёт и время поездки по ней. Из-за этого остальные водители, отправляющиеся из А в Б, будут выбирать другую дорогу, тем самым выравнивая транспортные потоки и возвращая систему в состояние равновесия.

Рассмотрим теперь случай, когда местная администрация, желая улучшить дорожную ситуацию, решила построить дополнительную дорогу, проходящую от посёлка В к посёлку Г (см. рисунок 2). Предположим, что время поездки по дороге В-Г настолько мало, что в расчётах будем считать его равным 0.

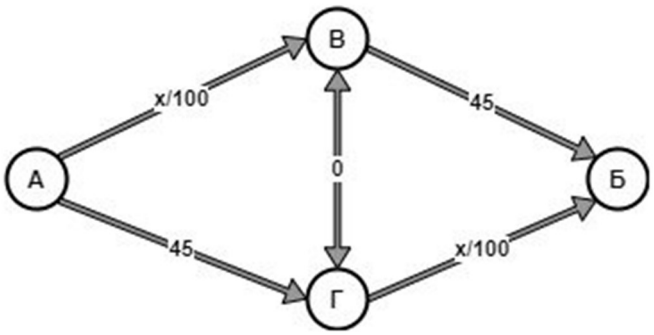


Рисунок 2 – Схема транспортной сети с дополнительным участком В–Г (время поездки по В–Г равно нулю)

В этом случае состояние равновесия системы будет другим. Водители будут выбирать самые быстрые участки пути от А до Б. Это приведёт к тому, что все водители, выезжающие из А, будут выбирать участок А-В, максимальное время поездки по которому будет составлять $T = \frac{4000}{100}$ = 40 (минут), в то время как длительность поездки по участку А-Г будет составлять 45 минут. Далее, находясь в посёлке В, водители будут выбирать участок В-Г-Б, максимальное время проезда по которому будет также составлять 40 минут против 45 минут при проезде по участку В-Б. В результате все водители выберут маршрут А-В-Г-Б с общим временем поездки 80 минут. Это состояние будет новым равновесным состоянием системы. Продолжительность любого другого маршрута будет превышать 80 минут, мотивируя новых водителей стартующих из А в Б, по-прежнему выбирать маршрут А-В-Г-Б.

Отсюда следует парадоксальный вывод: после строительства дополнительной дороги общее время поездки между двумя точками увеличится, а загруженность отдельных участков пути (А-В, В-Г, Г-Б) значительно возрастёт.

Принимая во внимание этот парадокс, исследуем математическую модель, описывающую динамику пропускной способности двух точек доступа ТД1 и ТД2 к компьютерной сети при распределении между ними N пользователей [4]. Пусть $N = 100$ – общее количество пользователей в сети с двумя точками доступа.

Каждая из точек обеспечивает начальную скорость доступа, для ТД1 это $r_f = 20\,\text{Мбит/с}$, а для ТД2 скорость доступа r_v экспоненциально затухает при росте числа подключений:

$$r_v(m) = r_0 \cdot e^{-k \cdot m},$$

где $r_0 = 220\,\text{Мбит/с}$– начальная скорость,$k = 0{,}05(\text{от}0{,}01\text{до}0{,}1)$– коэффициент экспоненциального затухания, m – количество пользователей, подключенных к ТД2. Такая модель широко применяется в анализе сетевых компьютерных систем с ограниченными ресурсами.

Точка доступа имеет ограниченные ресурсы, и при слишком большом количестве пользователей каждый из них получает всё меньшую долю пропускной способности, а значит, скорость передачи данных падает (см. рисунок 3). Это критично при планировании распределения нагрузки — слишком много пользователей в одной точке значительно снижает производительность.

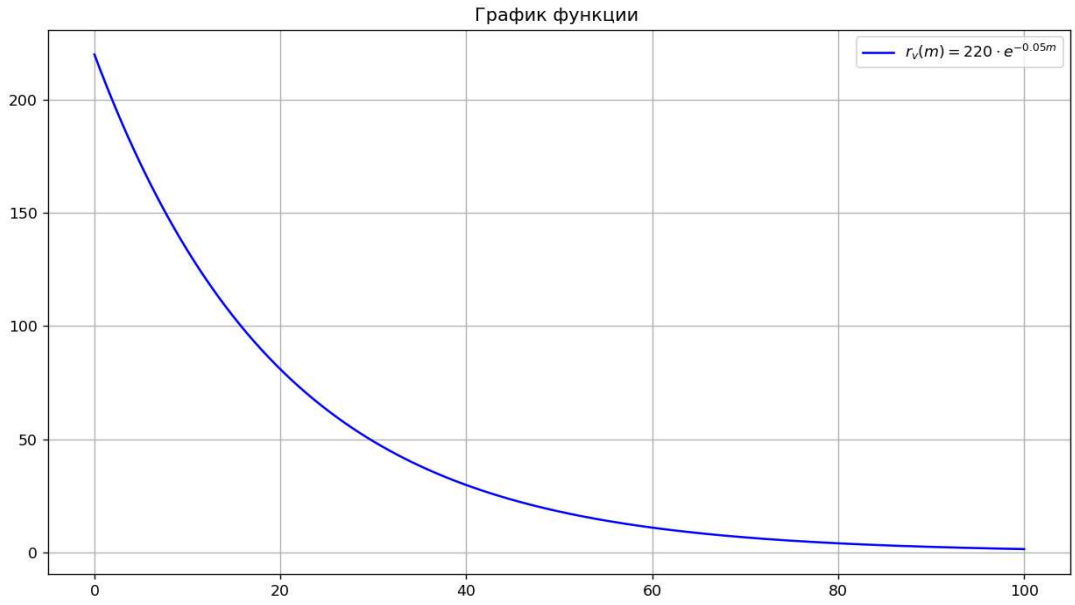


Рисунок 3 - График скорости r_v в зависимости от числа подключенных пользователей m

Рассмотрим подробнее механизм эгоистичного выбора маршрута. Этот термин означает, что каждый пользователь выбирает точку подключения исключительно на основе своей личной выгоды — там, где скорость выше именно для него. Он не учитывает, как его выбор повлияет на других пользователей или на сеть в целом.

На старте, при малом числе подключений, ТД2 действительно показывает более высокую скорость. Поэтому большинство пользователей выбирают именно эту точку доступа. Однако, каждый новый пользователь снижает доступную скорость на ТД2 — нагрузка растёт, а производительность падает. Но пользователи продолжают подключаться к ней, пока она кажется им более выгодной.

Здесь возникает типичная ситуация из теории игр [5], когда каждый игрок действует оптимально для себя, но в итоге все оказываются в проигрыше. Это и есть основа парадокса Браесса: индивидуальные решения ухудшают общее состояние системы. В нашем случае — перегрузка ТД2 и падение скорости подключения почти для всех пользователей. При этом ТД1 остаётся недозагруженной.

При подключении всех N пользователей к ТД2 их суммарная скорость становится равной:

$$r_{\sum} = 100 \cdot r_v(100) = 10 \cdot 220 \cdot e^{-0{,}05 \cdot 100} \approx 148{,}2\,\text{Мбит/с}.$$

В ситуации, где каждый пользователь рационален и не может улучшить для себя скорость передачи данных, наступает равновесие по Нэшу. Согласно этому принципу, суммарная скорость пользователей, подключённых ко второй точке доступа ТД2, должна быть равна суммарной скорости пользователей, подключённых к первой точке ТД1. Условие баланса нагрузки выражается уравнением:

$$r_{\sum 1} = r_{\sum 2}$$

где $r_{\sum 1}$ - это суммарная скорость пользователей, подключенных к ТД1, $r_{\sum 2}$ - суммарная скорость пользователей, подключенных к ТД2.

В итоге получаем:

$$m \cdot r_v(m) = (N - m) \cdot r_f$$

где m – число пользователей, подключившихся к ТД2, N − m – число пользователей ТД1.

Идея равновесия по Нэшу заключается в том, что каждый пользователь (игрок) выбирает стратегию, оптимальную для себя, но с учётом поведения других. Система стремится к такому состоянию, при котором никто не может улучшить свой результат, изменив стратегию в одностороннем порядке.

Чтобы обеспечить оптимальное распределение пользователей между двумя точками доступа, необходимо найти такое значение переменной m при котором выполняется условие равновесия:

$$f(m) = m \cdot r_v(m) - (N - m) \cdot r_f \approx 0$$

Это уравнение показывает, что общий объём трафика, обрабатываемый первой точкой доступа, должен быть равен объёму трафика, приходящемуся на вторую точку доступа. Таким образом достигается баланс нагрузки.

Для визуализации и анализа поведения функции применим Python из библиотеки(Matplotlib.pyplot) для построения графиков (см. рисунок 4).

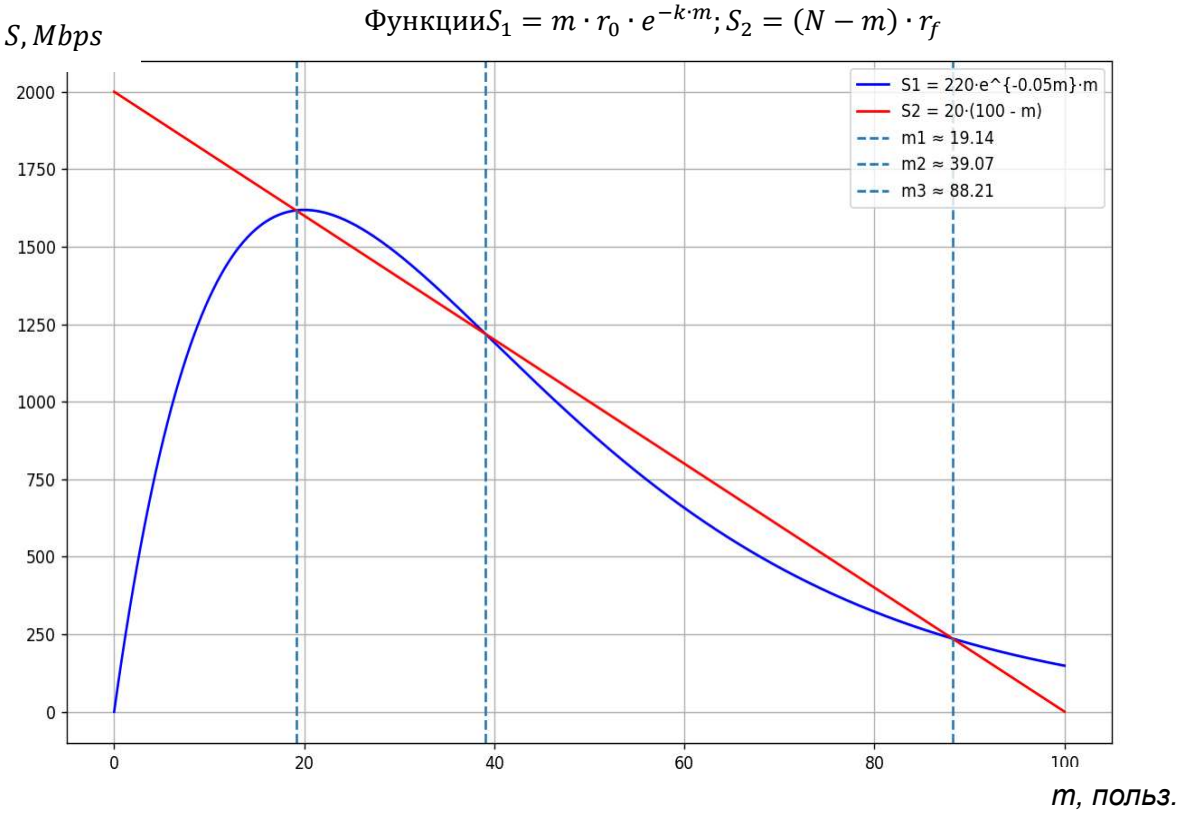


Рисунок 4 - Синяя кривая:$S_1 = m \cdot r_0 \cdot e^{-k \cdot m}$ – суммарная скорость пользователей, подключенных к ТД2, в зависимости от их числа m. Красная прямая:$S_2 = (N - m) \cdot r_f$ – суммарная скорость пользователей, подключенных к ТД1, в зависимости от числа оставшихся пользователей.

Заметим, что точками равновесия будут точки, где синяя и красная линии пересекаются и получаем три решения: приблизительно 19, 39 и 88. Из них решение m ≈ 19 выбирается как оптимальное (так как кажется, что оно будет наилучшим, однако это не совсем так, и надо учесть условия оптимизации).

Условия оптимизации:

1) скорость передачи данных через тд2 убывает монотонно.

$$r_v(m+1) - r_v(m) \leq 0$$

2) максимум суммы достигается не в точке равновесия по нэшу, а в точке, достаточно близкой к точке равновесия по нэшу:

$$m \cdot r_v(m) \approx (N-m) \cdot r_{f.}$$

3) пользователи 17, 18, 19, выбирая тд2, ещё могут немного улучшить синюю линию. но тогда меньшее число оставшихся пользователей ухудшит красную линию так, что суммарный результат по зелёной линии немного ухудшится. фактически, нам надо просто построить два графика - синий и красный и геометрически их просуммировать (см. рисунок 5). а далее найти точку максимума на зелёном графике. при этом точка равновесия по нэшу с минимальной абсциссой - это приблизительная интерпретация полученного результата в терминах теории игр.

$$S_1 + S_2 = S_{max}$$

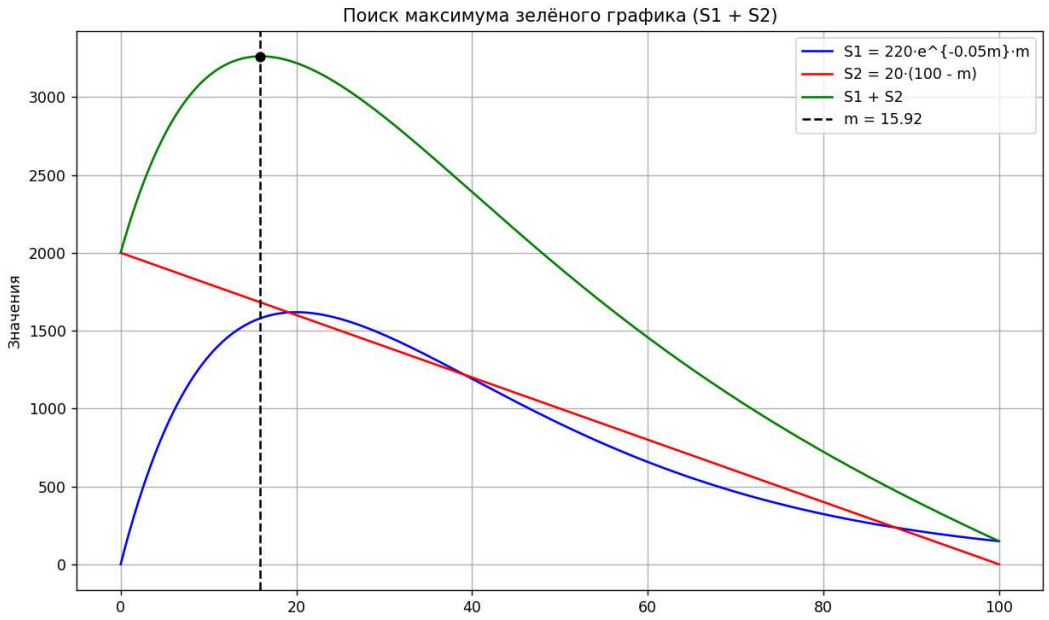


Рисунок 5 – Поиск оптимального значения m

Выбираем m = 16, потому что именно при таком распределении пользователей суммарная пропускная способность двух точек доступа оказывается максимальной.

$$r_{\Sigma} = m \cdot r_v(m) + (N-m) \cdot r_f$$

Подставляя найденные значения, получаем:

$$r_{\Sigma} = 3261 \text{Мбит/с} \cdot$$

Сравним три сценария подключения пользователей к сети (без оптимизации, эгоистичный выбор и оптимизация по Нэшу).

Сценарий 1. Все пользователи подключаются к ТД1 (без оптимизации).
В этом случае каждый пользователь получает скорость $r_f = 20\,\text{Мбит}/c$.

Суммарная скорость сети*:*

$$r_{\sum} = r_f \cdot N = 2000 \text{Мбит}/c$$

Сценарий 2. Все пользователи подключаются к ТД2 (эгоистичный выбор, без координации).
Каждый пользователь получает скорость $r_v = r_v(N) = 220 \cdot e^{-0{,}05 \cdot 100} = 1{,}482\ \text{Мбит}/c$
Суммарная скорость сети:

$$r_{\sum} = r \cdot N = 148{,}2 \text{Мбит}/c$$

Сценарий 3. Оптимизация по равновесию Нэша (сбалансированное распределение).

Найденное равновесное значение m $\approx$ 16 означает, что около 16 пользователей подключаются к ТД2, а остальные N – m $\approx$ 84 пользователей - к ТД1.

Пользователи ТД1 получают скорость:

$$r_f = 20\ \text{Мбит}/c\,; \quad r_{\sum 1} = r_f \cdot (N - m) = 1680\ \text{Мбит}/c.$$

Пользователи ТД2 получают скорость:

$$r_v = r_v(16) = 220 \cdot e^{-0{,}05 \cdot 16} = 98{,}852\ \text{Мбит}/c\,; \quad r_{\sum} = m \cdot r_v(m) = 1581 \text{Мбит/с.}$$

Суммарная скорость сети $r_{\sum} = r_{\sum 1} + r_{\sum 2} = 3261 \text{Мбит/с.}$

Итоговое сравнение сценариев (в процентах):

1) Все пользователи подключены к ТД1: 2000 $\text{Мбит}/c$ – 100%(базовый уровень).
2) Все пользователи подключены к ТД2: 148,2 $\text{Мбит}/c$ – около 7,4% от базового уровня.
3) Оптимизация по равновесию Нэша: 3261 $\text{Мбит}/c$ – около 163,1% от базового уровня.

Таким образом, оптимальное распределение пользователей между ТД1 и ТД2 (с использованием равновесия по Нэшу) позволяет значительно увеличить суммарную скорость сети по сравнению с ситуациями, когда все пользователи подключаются только к одной точке доступа.

В дальнейших исследованиях модель может быть расширена за счет использования более сложных функциональных зависимостей затухания пропускной способности точки доступа (например, логарифмических, степенных или гибридных моделей), что позволит более точно учитывать поведение сети при высоких нагрузках. Для транспортной сети перспективно создание прикладного программного решения — мобильного или веб-приложения, способного в реальном времени отслеживать динамическую нагрузку на дорожной сети (сбор данных с GPS-навигаторов, датчиков, камер), визуализировать узкие места и предлагать маршруты с минимальным временем в пути.

Список использованных источников:

1. *The Chicken Braess Paradox /K. Eriksson, J. Eliasson // Mathematics Magazine, 2019.- V. 92:3, P. 213-222.*
2. *Über ein Paradoxon aus der Verkehrsplanung. Unternehmensforschung Operations Research / D. Braess // Recherche Opérationnelle, 1968.-V.12(1), P. 258–268.*
3. *Equilibrium points in n-person games / J. F. Nash// Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 1950. – V. 36(1), P. 48–49.*
4. *A primer on spatial modeling and analysis in wireless networks / J. G. Andrews [et al.] // IEEE Communications Magazine, 2010. – V. 48(11), P. 156–163.*
5. *Деулофеу, Х. Дилемма заключенного и доминантные стратегии. Теория игр. Мир математики: в 40 т. Т. 8/ Х. Деулофеу. / Пер. с исп. — М.: Де Агостини, 2014. — 144 с.*

UDC 51(0.062)

ROUTING OPTIMIZATION IN COMPUTER NETWORKS USING BRAESS PARADOX AND NASH EQUILIBRIUM

Drako M.D., Leskovsky E.E.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Lushchakova I.N. - PhD in Physics and Mathematics

Annotation. We consider a mathematical model for the behavior of selfish users choosing between two access points, where one of these access points has a fixed data transfer rate, and the other has a variable rate with exponential decay increasing in the number of connected users. It is shown how the Braess paradox arises in uncoordinated connections. A method for finding the Nash equilibrium using the solution of the balance equation is proposed for distributing users between access points. The network throughput is analyzed and the optimal distribution of users between access points is determined, ensuring the maximum total network performance.

Keywords. Braess paradox; Nash equilibrium; routing; computer networks; throughput; load balancing; route optimization; game theory; wireless networks.

УДК 51+78

СВЯЗЬ МАТЕМАТИКИ И МУЗЫКИ

Лобачевская М.В,Поддубная Е.И., студенты гр.473903

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Лобанок Л.В. – старший преподаватель кафедры ВМ

Аннотация. Математика и музыка кажутся разными мирами, но их единство раскрывается при детальном изучении. Пифагор связал гармонию с числами, Лейбниц назвал музыку «скрытой арифметикой души», а Гольдбах — «проявлением тайной математики». Исследования показывают, как математика формирует интервалы, ритм и структуру музыки, превращая числа в язык гармонии. Звуки становятся воплощением абстрактных законов. Цель данной работы — показать, что связь математики и музыки — не просто теория, а живой диалог точности и красоты.

Ключевые слова. Пифагорова комма, монохорд, равномерно-темперированный строй, золотое сечение, числа Фибоначчи, квинтовое соотношение.

С древности ученые искали связь между наукой и искусством, веря в универсальные принципы, выраженные через математические законы. Одним из первых взаимосвязь математики и музыки обнаружил Пифагор, исследовавший гармонию звуков. Он объяснил, почему одни музыкальные созвучия приятны на слух, а другие звучат резко и раздражают. Для своего исследования он использовал монохорд — длинный деревянный ящик с одной натянутой струной. Пифагор обнаружил, что простые соотношения длин струны создают гармоничные интервалы:

Интервал	Частотное соотношение
Прима	1:1
Октава	2:1
Квинта	3:2
Кварта	4:3

.Рисунок 1 – Гармоничные интервалы

Логическим продолжением открытия Пифагора явилась идея разделения созвучий на консонансы и диссонансы. Консонансы представляют собой созвучия, вызывающие ощущение покоя, гармонии и устойчивости, тогда как диссонансы звучат резко и беспокойно, создавая чувство незавершённости. Стоит отметить, что некоторые консонансы возникают, если длины звучащих струн соотносятся как целые числа, являющиеся треугольными.

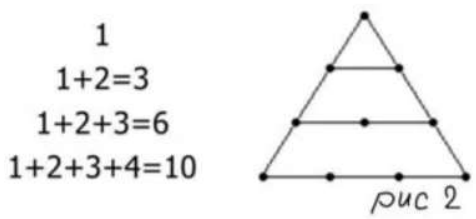


Рисунок 2 – Треугольные числа

Пифагоров строй, основанный на простых соотношениях частот, казался идеальным решением для античной музыки. Однако попытки распространить его принципы на полный 12-ступенный звукоряд привели к неожиданной проблеме: последовательное умножение частот на квинтовое соотношение 3/2

с приведением к октаве (делением на 2) оказалось неспособным замкнуть звукоряд. После 12 шагов предполагалось возвращение к исходной ноте, смещённой на 7 октав, но расчёты выявили несовпадение:

$$\frac{(\frac{3}{2})^{12}}{2^7} \approx 1{,}0136(23{,}46\text{центов}) \quad (1)$$

Разница между этими значениями, равная (около 1,0136(23.46 центов)) получила название Пифагорова комма. Акустически это несоответствие вызывает проблему в настройке инструментов. Накопление этой разницы при многократных циклах квинт приводит к изменению звучания аккордов и мелодий, вызывая диссонанс.

Около 1700 года немецкий органист А. Веркмайстер предложил решение проблемы пифагоровой коммы через использование ***"хорошо темперированного строя"***, в нем равномерно распределяются отклонения (пифагоровой коммы) на все интервалы звукоряда. Для этого используется математический подход равного деления октавы на 12 частей(полутонов). В этой системе частота *n*-го полутона вычисляется как:

$$f_n = f_0 \times 2^{n/12} \quad (2),$$

где f_0 — исходная частота.

Данный подход устраняет пифагорову комму, заменяя «чистые» интервалы слегка скорректированными. Например, интервал квинты в пифагорейском строе имеет точное соотношение частот 3:2, что звучит идеально гармонично. Однако в равномерно темперированном строе частотное соотношение квинты изменяется до $2^{7/12}$≈1.49832. Это небольшое отклонение позволяет системе оставаться согласованной в любой тональности.

Появление нового музыкального строя во многом стало возможным благодаря достижениям математики. Без знания логарифмов провести расчеты равномерно-темперированного строя было бы значительно сложнее. Логарифмы стали своеобразной «алгеброй гармонии», на которой выросла темперация. Ниже приведена формула логарифмического представления равномерной темперации.

$$log_2\,(f_n/f_0) = n/12 \quad (3),$$

где f_0 – исходная частота, f_n-частота n-го полутона.

Октава $\frac{2}{1}\left(\log_2 \frac{2}{1} = 1\right)$

Кварта $\frac{4}{3}\left(\log_2 \frac{4}{3} \approx 0{,}417\right)$

Септима $\frac{15}{8}\left(\log_2 \frac{15}{8} \approx 0{,}907\right)$

Терция $\frac{5}{4}\left(\log_2 \frac{5}{4} \approx 0{,}323\right)$

Секста $\frac{5}{3}\left(\log_2 \frac{5}{3} \approx 0{,}736\right)$

Секунда $\frac{9}{8}\left(\log_2 \frac{9}{8} \approx 0{,}169\right)$

Квинта $\frac{3}{2}\left(\log_2 \frac{3}{2} \approx 0{,}584\right)$

Рисунок 3 – Логарифмическое выражение интервалов, которые наиболее распространены в музыке

Пифагорейцы заложили фундамент музыкальной гармонии, исследуя рациональные числовые соотношения, которые определяли строй и интервалы. Однако, с течением времени, интерес к новым подходам привёл к изучению необычных закономерностей, таких как иррациональные числа. Например, *φ (золотое сечение ≈ 1.618)* оказалось связанной с гармонией в музыке, предлагая иной способ её интерпретации.

В музыке золотое сечение можно увидеть через последовательность чисел Фибоначчи. Эта последовательность начинается с чисел 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21 и так далее, где каждое следующее число равно сумме двух предыдущих. Если рассматривать отношение между двумя соседними числами, то с увеличением номеров в последовательности это отношение становится всё ближе к числу φ (золотое сечение).

В 12-ступенном равномерно темперированном строе интервалы можно выразить через числа Фибоначчи. Если принять полутон (*минимальное расстояние между нотами*) за единицу (1), то:

- 1 = полутон,
- 2 = целый тон,
- 3 = малая терция,
- 5 = чистая кварта,
- 8 = малая секста.

Эти интервалы соответствуют начальным числам Фибоначчи, что делает их гармоничными и приятными для слуха.

Пример с мажорным аккордом: Мажорный аккорд — это сочетание трёх нот, которые звучат вместе и создают гармонию. Например, аккорд до–ми–соль (C–E–G).

Рассмотрим интервалы в аккорде до–ми–соль:

1. Большая терция (до–ми): 4 полутона.
2. Малая терция (ми–соль): 3 полутона.
3. Квинта (до–соль): 7 полутонов.

Соотношения этих интервалов близки к золотому сечению:

малая терция/большая терция = 3/4 = 0.75,

большая терция/квинта = 4/7 ≈ 0.571.

Эти значения близки к φ^{-1} ≈ 0.618, что указывает на связь с золотым сечением.

Математические закономерности проявляются не только в «вертикали» музыки (сочетания звуков, интервалы, аккорды), но и в её «горизонтали» — временной организации произведения. Например, золотое сечение часто определяет пропорции между разделами композиции (экспозиция, разработка, реприза), создавая структурный баланс: ключевые кульминации или смены темпа могут совпадать с точками, делящими структуру произведения в отношении φ ≈ 1.618**.**

Профессор Л.Мазель, изучая восьмитактные мелодии Шопена, Бетховена и Скрябина, обнаружил, что их кульминации часто приходятся на слабую долю пятого такта (5/8), что соответствует золотому сечению.

Применим принципы золотого сечения к прелюдии II И. С. Баха. Всего в прелюдии 37 тактов. Заканчивается последний такт нотой, длительностью в четверть такта с ферматой – удлинением в 1.5–3 раза. Поскольку это финальная фермата, удлинение будет максимальным. Таким образом, к 37 тактам добавилось еще 2 четверти – полтакта. Длина произведения составила 37.5 тактов. Далее прелюдия разделена на 2 части: первая – однообразная, с очень похожими ходами и комбинациями в тактах; вторая более разнообразная, яркая, с гораздо ярче выраженными эмоциями, включающая нарастающее перед кульминацией волнение, саму кульминацию и коду (завершение). Таким образом, первая часть составляет 23 такта, а вторая – 14.5 тактов. Рассчитаем отношение общего количества тактов к количеству тактов первой части: 37.5/23 ≈ 1.6. Соотнесем количество тактов первой части и второй: 23/14.5 ≈ 1.6. Коэффициенты оказываются равными.

Для дальнейшего анализа вторая часть делится еще на две: подготовка к кульминации – 9 тактов и кульминация с кодой – 5.5 тактов. Составлено отношение: 14.5/9 ≈ 1.6; 9/5.5 ≈ 1.6. И снова коэффициенты близки к 1.6. Затем кульминация отделена от коды, соответственно 3.5 и 2 такта, с отношением: 5.5/3.5 ≈ 1.6. Во всех отношениях коэффициент близок к 1.6 с небольшими погрешностями.

Таким образом, можно сделать вывод, что прелюдия №II И. С. Баха подчиняется законам золотого сечения.

Золотое сечение проявляется не только в структуре музыкальных произведений, но и в форме и конструкции музыкальных инструментов. Например, изгибы корпуса скрипки часто следуют этой пропорции: широкая часть и «талия» находятся в соотношении, близком к золотому сечению. Такая конструкция не только делает инструмент визуально привлекательным, но и улучшает передачу вибраций, способствуя качественному звучанию.

$$\frac{a1+a2}{a2}=\frac{a2}{a1}=\frac{b2}{b1}=\frac{b2}{c2}=\frac{c2}{c1}=\phi$$

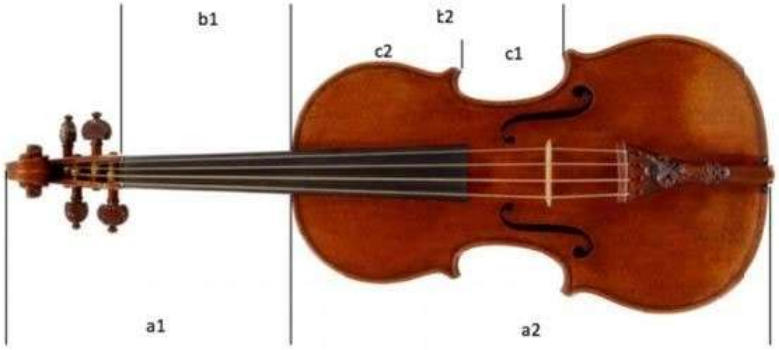


Рисунок 4 – Применение принципа золотого сечения к скрипке

На основании проведённой работы можно подвести итог, что математика играет значительную роль в музыке. Математические принципы лежат в основе музыкальной теории, объясняя ритмы, гармонию и акустические закономерности, что позволяет глубже понять структуру и содержание музыкальных произведений. Математика не ограничивает творчество, а расширяет его возможности.

Список использованных источников:

1. Кондратьев В. Н. Миф о музыкальной гармонии: Параллели с математикой : монография / В. Н. Кондратьев. — М. : Наука, 1988. — 256 с.

2. О золотом сечении в музыке // Ethos и aesthesis современного философствования : материалы всероссийской научной конференции, 14–15 ноября 2003 г. — СПб. : Изд-во С.-Петербургского филос. общества, 2003. — С. 120–125.

3. Kung, D. How Music and Mathematics Relate : лекция / Professor David Kung. — St. Mary's College of Maryland, 2019. — P. 53–63.

4. The Golden Ratio in Music: Compositional Practice or the Result of Genius : статья. — 2024. — P. 323–326.

UDC 51+78

THE CONNECTION BETWEEN MATHEMATICS AND MUSIC

Lobachevkaya M.V., Poddubnaya E.I., students of group 473903

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Lobanok L.V. – senior lecturer, Department of Higher Mathematics

Annotation. Mathematics and music may seem like different worlds, but their unity is revealed through detailed study. Pythagoras linked harmony with numbers, Leibniz called music "the hidden arithmetic of the soul," and Goldbach referred to it as "the manifestation of secret mathematics." Research shows how mathematics shapes intervals, rhythm, and the structure of music, transforming numbers into the language of harmony. Sounds become an embodiment of abstract laws. The purpose of this work is to demonstrate that the connection between mathematics and music is not just a theory, but a living dialogue of precision and beauty.

Keywords. Pythagorean comma, monochord, equal temperament, golden ratio, Fibonacci numbers, quintal ratio.

УДК 343.82-021.431-048.87

ДИЛЕММА ЗАКЛЮЧЕННОГО: ПАРАДОКС РАЦИОНАЛЬНОСТИ И СОТРУДНИЧЕСТВА

Литвинович А.В., Хомич Н.М., Чумаков М.С., студенты гр.473901

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Лобанок Л.В. – старший преподаватель, ВМ

Аннотация. Данная работа рассматривает основные принципы теории игр, включая понятия Парето-оптимальности, доминирующей стратегии и равновесия Нэша, а также их применение к анализу стратегического поведения. Особое внимание уделяется дилемме заключенного как классическому примеру парадокса рационального выбора.

Ключевые слова. Игра, выбор, доминирующая стратегия, дилемма заключенного, равновесие по Нэшу, Парето-оптимальность.

На первый взгляд может показаться, что “игра” — это разве что шахматы, покер или спортивные состязания, однако это совсем не так. Теория игр изучает теорию математических моделей принятия оптимальных решений в условиях конфликтов, а также стратегическое взаимодействие между субъектами, называемыми игроками. Данная теория применяется в различных сферах жизни и общества: экономике, политике, маркетинге и даже военной стратегии. Например, во времена холодной войны между США и СССР теория игр использовалась для анализа гонки вооружений, ведь каждая из сторон выбирала индивидуальную стратегию, пытаясь предугадать действия противника.

Игра в этой теории понимается как любое взаимодействие между несколькими людьми, в котором выигрыш каждого игрока зависит от решений других. Таким образом, любое взаимодействие, частью которого вы являетесь, может быть проанализировано с точки зрения теории игр с целью получения оптимального для какой-либо стороны результата.

Основные принципы теории игр:

1. В игре должно быть несколько игроков (≥2).
2. Игроки должны взаимодействовать между собой.
3. В игре должна быть награда.
4. Предполагаем, что игроки действуют рационально.
5. Предполагаем, что игроки действуют в соответствии со своими собственными интересами.

«Дилемма заключенного» — так называемый парадокс сотрудничества, наиболее известная игра, которая показывает, что, действуя в собственных интересах, субъект игры далеко не всегда сможет прийти к оптимальному результату. Идею игры, где каждый игрок может получить свой выигрыш (ранний выход на свободу), но при этом они самостоятельно уменьшают размер выигрыша, так как не доверяют друг другу, математики Мерил Флад и Мелвин Дрешер предложили в 1950 году. Дополнил её, описав игру как проблему двух преступников, математик Альберт Таккер. Он же дал игре название «Дилемма заключённого». Основной целью в ней является разработка взаимовыгодной стратегии для двух недавно арестованных грабителей, которым грозит потенциальное тюремное заключение. Правила данной игры таковы (срок заключения не является ключевым фактором, важна лишь градация меры наказания):

1. Игроками являются Заключенный А и Заключенный Б. То есть множество игроков в данной игре состоит из двух элементов: I = {А, Б}.
2. Каждый игрок может выбрать одну из двух стратегий. Таким образом, множество стратегий для каждого игрока $i \in I$ будет S_i = {“молчать”, “предать”}.
3. Игроки не имеют возможности общаться друг с другом.
4. Если оба заключенных предают друг друга, каждый из них получит по 2 года тюремного заключения.
5. Если предаст только один, он сможет выйти на свободу, в то время как второй отправится за решетку на 3 года.
6. Если оба заключенных молчат, они проведут в тюрьме по 1 году каждый.

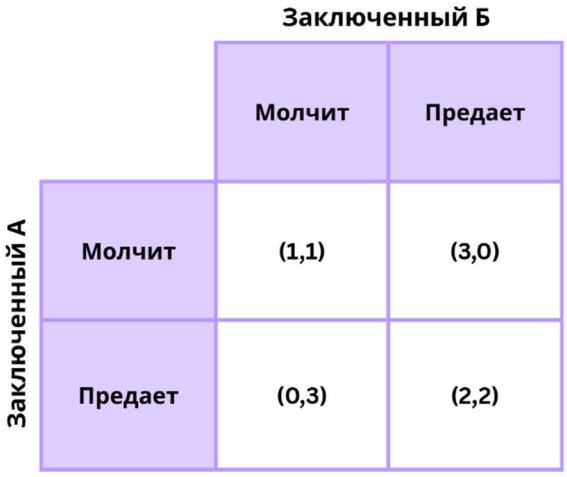


Рисунок 1 — Модель дилеммы заключенного

Обоим преступникам выгодно сознаться, вне зависимости от того, что выберет другой. Пусть, Заключенному А стало известно, что Заключенный Б промолчит. Если он предаст, то избежит наказания; если же промолчит, то проведет в тюрьме 1 год. Следовательно, если Заключенный Б будет молчать, то Заключенному А выгоднее предать. Предположим обратную ситуацию: Заключенный А знает, что Заключенный Б предаст. В таком случае Заключенному А все также выгодно сознаться и предать второго, так как он получит 2 года вместо 3. Следовательно, вне зависимости от того, что сделает один из заключенных, другому будет выгодно предательство. Профиль стратегий (“предать”, “предать”) является равновесием в сильно доминирующих стратегиях. В теории игр обычно используются термины “доминирующая стратегия”, “равновесие по Парето” и “равновесие по Нэшу”, чтобы различить стратегии, которым следуют игроки.

Доминирующая стратегия относится к стратегиям, лучшим для одного игрока, вне зависимости от того, как сыграет оппонент. В случае с дилеммой заключенного доминирующей стратегией для каждого игрока будет предательство. Такие стратегии показывают себя с лучшей стороны в случае безальтернативности, однако в играх, где у каждого игрока может быть собственная доминирующая стратегия, они не являются оптимальными.

Вышеупомянутый исход “дилеммы заключенного” (2 года тюрьмы каждому) не является наилучшим, ведь при выборе стратегии s = (“молчать”, “молчать”) результат для каждого из субъектов игры был бы более оптимальным. Это является следствием того, что мы анализируем игровую, а не оптимизационную задачу. Оба заключенных принимают решения по отдельности, если бы за них решал кто-то один, кто мог бы максимизировать суммарный выигрыш обоих заключенных, то он бы выбрал s = (“молчать”, “молчать”). Однако данный исход невозможен в реальности.

Пусть $G = \langle I, S, u \rangle$ — игра, где $s, s' \in S$ и s Парето-доминирует s', если для всех $i \in I$,

$$u_i(s) \geq u_i(s'), \quad (1)$$

где u — функция выигрыша каждого игрока, причем как минимум для одного i это неравенство выполняется строго.

Вильфредо Парето — итальянский экономист и социолог, кроме теории игр также внесший вклад в развитие теории элит и теории вероятностей. Введенные им определения «Парето-распределение» и «Парето-оптимум» (эффективность по Парето) широко используются в самых различных научных дисциплинах. Эффективность по Парето — состояние системы, при котором невозможно улучшить ни один показатель, не ухудшив какого-либо другого. Таким образом, профиль стратегий s^o является Парето-эффективным или оптимальным по Парето если не существует $s' \in S$, который Парето-доминирует s^o. В игре “дилемма заключенного” единственный профиль стратегий, который не является Парето-эффективным — это равновесные стратегии (“предать”, “предать”). Из этого следует, что поведение игроков зачастую совсем не соответствует возможным благоприятным условиям для одной из сторон.

В 1994 году Нобелевской премии по экономике за «Анализ равновесия в теории некооперативных игр» был удостоен американский математик Джон Нэш. Благодаря ему стал возможным переход от сложных математических моделей, ранее предложенных фон Нейманом, к более универсальным концепциям равновесия. Ключевым моментом в развитии теории игр считается доказательство Нэшем существования равновесия в любой конечной игре. Согласно Нэшу, даже в играх с высокой конкуренцией существует “равновесие”, при котором ни один игрок не окажется в выигрышном

положении, сделав определенный выбор. При таком равновесии каждая сторона знает своего противника очень хорошо, следовательно придерживается его стратегии. В дилемме заключенного таким равновесием является молчание обоих игроков. Особенностью теории Нэша является его предположение, что в каждой игре есть как минимум одна точка равновесия, и всем игрокам следовало бы найти ее, а после чего сформировать свою стратегию исходя из нее. Данный принцип позволил специалистам в таких областях, как экономика, военное дело, политика и бизнес лучше понимать и предугадывать действия друг друга, а значит и вырабатывать более эффективные стратегии.

Дилемма заключенного в значительной степени иллюстрирует основы человеческой природы. Нерациональный преступник, действующий исключительно в своих собственных интересах, с большей вероятностью выберет предательство, рассчитывая на большую выгоду для себя. Такой выбор приведет к неудаче обеих сторон, ведь они получат наихудший суммарный результат из возможных. Очевидно, что наиболее взаимовыгодный выбор в данной ситуации — молчание. В подобных ситуациях находит отражение морально-этический принцип «меньшего зла», который гласит, что лучше сделать «меньшее» зло ради предотвращения большего, чем не сделать ничего, позволив чужому злу осуществиться. Таким образом, в подобной ситуации рациональный эгоизм ведет к общему проигрышу, в то время как сознательное стремление минимизировать общий вред становится разумной и этически оправданной стратегией. Основная идея данной игры состоит в том, чтобы показать присущую людям склонность демонстрировать отсутствие сотрудничества.

Теория игр строится на анализе ситуаций, где участники должны принимать стратегические решения. Исход каждого события зависит не только от собственного выбора стратегии, но и действий других вовлечённых сторон. Особый интерес представляют сценарии, в которых сотрудничество является взаимовыгодным, однако каждый субъект стремится к личной выгоде, отказываясь от совместных действий. Таким образом, подобное поведение приводит к тому, что все участники оказываются в худшем положении, в отличие от того, которое могло бы быть достигнуто благодаря сотрудничеству. Подобные модели можно обнаружить в различных сферах — от экономики и политики до военного дела и биологии.

Долгое время ключевые идеи теории игр находили применение в биологии, где их используют для изучения эволюционных процессов, например, для анализа взаимодействия и выживания разных видов животных.

Таким образом, проблемы рациональности, склонности к сотрудничеству, информированности игроков и возможности реализации угроз можно эффективно анализировать с помощью теории игр. Даже объяснение существования общественных объединений и социальных институтов допускает исследование через призму данной теории. В результате, теория игр зарекомендовала себя как один из важнейших математических методов экономики и других научных дисциплин.

Список использованных источников:

1. Теория игр в общественных науках: учеб. пособие / А.В. Захаров//2010

2. Основные понятия теории игр: учеб. пособие/ А.Г. Кремлев//2016

3. Что такое дилемма заключенного [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://secretmag.ru/enciklopediya/chto-takoe-dilemma-zaklyuchyonnogo-obyasnyaem-prostymi-slovami.htm – Дата доступа: 27.03.25.

UDC 343.82-021.431-048.87

PRISONER'S DILEMMA: THE PARADOX OF RATIONALITY AND COOPERATION

Litvinovich. A.V., Khomich N.M., Chumakov M.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics[1], Minsk, Republic of Belarus

Lobanok L.V. – Senior Lecturer of Higher Mathematics

Annotation. This paper reviews the basic principles of game theory, including the concepts of Pareto optimality, dominant strategy, and Nash equilibrium, and applies them to the analysis of strategic behavior. Particular attention is paid to the prisoner's dilemma as a classic example of the paradox of rational choice.

Keywords. Game, choice, dominant strategy, prisoner's dilemma, Nash equilibrium, Pareto optimality.

УДК 159.937.522.4

ПАРАДОКСАЛЬНЫЙ МИР НЕВОЗМОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

Кравченко А.В. Сидоренко Е.С., студенты гр.473904

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Лобанок Л.В., - старший преподаватель кафедры высшей математики

Аннотация. В данной работе рассматриваются невозможные объекты – математические конструкции, которые противоречат интуитивному восприятию пространства, но при этом имеют строгое логическое обоснование. Особое внимание уделено фигурам, созданным шведским художником Оскаром Рутерсвардом, а также исследованию и популяризации этих концепций английским математиком Роджером Пенроузом и художником Маурицем Эшером. Анализируются свойства невозможных объектов, их влияние на развитие математического мышления и их применение в различных дисциплинах – от искусства до когнитивных наук.

Ключевые слова. Абстрактные объекты, невозможные объекты, оптические иллюзии, геометрические парадоксы, Оскар Рутерсвард, треугольник Пенроуза, Лайонел и Роджер Пенроуз, Мауриц Корнелис Эшер, восприятие пространств, невозможная геометрия, психология восприятия, парадоксальные фигуры.

С начала своего существования математика являлась инструментом описания реального мира, но развитие науки привело к появлению абстрактных, несуществующих объектов, аналогов которым в физической реальности не найдётся. Одним из наиболее любопытных направлений математики являются так называемые невозможные объекты – конструкции, которые противоречат интуиции, нарушают привычные законы логики или геометрии, но при этом имеют строгое математическое обоснование.

Исследование подобных явлений важно не только с теоретической точки зрения, но и для понимания пределов математического описания реальности. Кроме того, невозможные математические объекты находят применение в смежных дисциплинах: от физики и компьютерных наук до искусства и психологии восприятия. В данной работе рассматриваются основные примеры таких объектов, их свойства и влияние на развитие математического мышления.

К числу подобных объектов относятся работы Оскара Рутерсварда (1915–2002), шведского художника, отца «невозможных фигур». Он является создателем тысяч геометрических иллюзий, которые на первый взгляд кажутся трёхмерными, однако в реальности существовать не могут. Рутерсвард открыл новый визуальный язык, где возможно «обмануть» глаз, заставив его видеть логически невозможные объекты. Это повлияло не только на искусство, но и на науки, изучающие восприятие и когнитивные искажения. Он разработал множество невозможных архитектурных конструкций (лестниц, арок и других элементов), ставших классикой в искусстве оптических иллюзий.

Примером невозможных объектов являются невозможный квадрат, бесконечная лестница и многие другие. В случае невозможного квадрата каждая из четырёх сторон фигуры изображается в виде балки, соединённой с двумя другими под прямыми углами. Однако при построении пространственной модели этой конструкции возникает противоречие: каждая из четырёх сторон выглядит связанной с двумя другими под прямыми углами, но пространственное положение этих соединений чередуется так, что на плоском изображении они формируют замкнутую фигуру, которая визуально кажется логичной, но геометрически не может существовать. Это достигается за счёт манипуляции перспективой: в некоторых местах балки кажутся расположенными спереди, а в других – сзади, при этом нарушая непрерывность глубины пространства.

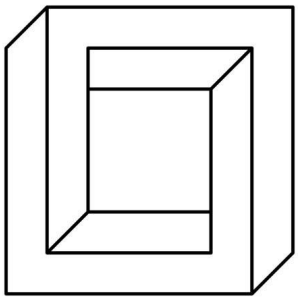


Рисунок 1 – Невозможный квадрат

Наиболее популяризированной работой Оскара Рутерсварда является невозможный треугольник, также известный как треугольник Пенроуза. Фигура была создана в 1934 году и состояла из кубиков. Возможно, рисунок так и остался бы малоизвестным, однако он всё же приобрёл популярность в 1958 году благодаря статье о парадоксальных фигурах в «Британском журнале психологии», написанной английским психиатром Лайонелом Пенроузом и его сыном, математиком Роджером Пенроузом. Уже в этой статье треугольник был представлен в виде трёх балок, соединённых между собой под углом в 90 градусов, что является самой известной его вариацией. Отличие также заключалось в том, что Рутерсвард использовал параллельную перспективу при рисовании, а Пенроуз применил линейную перспективу, что придало рисунку ещё большую «невозможность».

В обычной трёхмерной геометрии объекты подчиняются строгим правилам перспективы: параллельные линии не могут бесконечно сходиться или расходиться, а углы между объектами определяются законами проекции. Однако треугольник Пенроуза не соответствует этим законам. Визуально он состоит из трёх балок, соединённых под углом 90°, что делает его похожим на обычный треугольник. Однако при анализе пространственного расположения балок оказывается, что их соединение не может быть реализовано в трёхмерном пространстве.

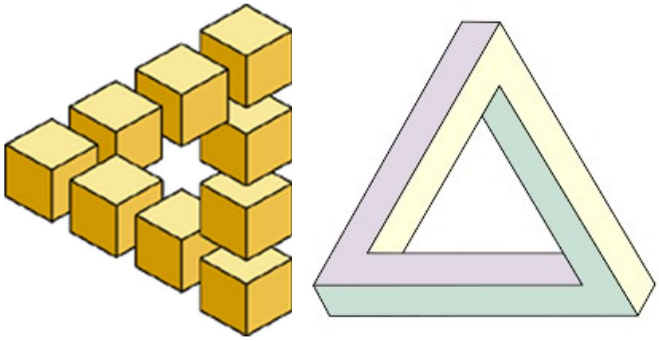


Рисунок 2 – Сравнение невозможного треугольника Рутерсварда и Пенроуз

Однако широкую известность этот объект получил во многом благодаря работам Маурица Корнелиса Эшера, который активно использовал элементы невозможной геометрии в своих произведениях. В своей работе «Водопад» (*Waterfall*, 1961) он применил принцип невозможного треугольника для создания архитектурных структур, которые на первый взгляд подчиняются законам физики, но на самом деле не могут существовать в реальном мире. Эшер использовал невозможный треугольник для создания замкнутого цикла движения воды, которая поднимается вверх и затем снова падает, образуя вечный круговорот.



Рисунок 3 – «Водопад» М. Эшер

Мауриц Эшер сыграл ключевую роль в популяризации невозможного треугольника Пенроуза. Используя художественные методы и инновационные визуальные техники, он превратил математический парадокс в узнаваемый символ оптических иллюзий. Его работы не только продемонстрировали возможности визуального искусства в передаче математических концепций, но и стимулировали дальнейшие исследования в области когнитивной науки и восприятия пространства.

Исследование невозможных объектов показывает, что границы математического описания реальности не всегда совпадают с человеческим восприятием. Фигуры, такие как треугольник Пенроуза, демонстрируют, как можно использовать геометрические искажения для создания визуальных парадоксов. Работы Оскара Рутерсварда, Роджера Пенроуза и Маурица Эшера сыграли значительную роль в изучении и популяризации невозможной геометрии, способствуя развитию новых направлений в науке, искусстве и психологии восприятия.

Список использованных источников:

1. *Рутерсвард О. Невозможные фигуры – Стройиздат, 1990. – Дата доступа: 19.03.2025*
2. *Ж. Л. Лошер, В. Ф. Вельдхуизен. Магия М. К. Эшера. – Арт-Родник, 2007. – Дата доступа: 19.03.2025*
3. *Хофштадтер Д. Гёдель, Эшер, Бах: эта бесконечная гирлянда. – Бахрах-М, 2001. – Дата доступа: 19.03.2025*

UDC 159.937.522.4

THE PARADOXICAL WORLD OF IMPOSSIBLE OBJECTS

Kravchenko A.V., Sidorenko E.S., students of group 473904

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics[1], Minsk, Republic of Belarus

Lobanok L.V. – Senior Lecturer of Higher Mathematics

Annotation. This work examines impossible objects – mathematical constructs that contradict intuitive perceptions of space yet possess strict logical justification. Particular attention is given to figures created by the Swedish artist Oscar Reutersvärd, as well as the exploration and popularization of these concepts by the English mathematician Roger Penrose and the artist Maurits Escher. The properties of impossible objects, their impact on the development of mathematical thinking, and their applications in various disciplines – from art to cognitive sciences – are analyzed.

Keywords. Abstract objects, impossible objects, optical illusions, geometric paradoxes, Oscar Reutersvärd, Penrose triangle, Lionel and Roger Penrose, Maurits Cornelis Escher, spatial perception, impossible geometry, psychology of perception, paradoxical figures.

УДК 51-7:595.796

МОДЕЛЬ СИНХРОНИЗИРОВАННОЙ РИТМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В КОЛОНИЯХ МУРАВЬЕВ

Снитко Роман, студент гр.428501

Сазанович Максим гр, студент428502

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники[1]
г. Минск, Республика Беларусь

Цегельник В.В. – доктор физ.-мат. наук, профессор каф. ВМ

Аннотация. В работе представлена математическая модель синхронизированной ритмической активности муравьёв через автокаталитическое возбуждение, описанная системой дифференциальных уравнений с запаздыванием. Анализ устойчивости решений показал, что синхронизация сохраняется при определённых параметрах.

Ключевые слова. Синхронизация, самоорганизация, автокаталитическая модель, муравьи Leptothorax acervorum, колебания активности, спонтанная активация, положительная обратная связь, запаздывание (τ), среднеполевые уравнения, дифференциальные уравнения с запаздыванием, метод Монте-Карло, асинхронная симуляция, демографический шум, периодические осцилляции, критическое значение периода отдыха, устойчивые циклы активности, нейронные сети, популяционная динамика, ритмическая активность, социальные насекомые.

Синхронизация является важным явлением самоорганизации в природе и наблюдается в различных биологических системах, таких как популяции животных, нейронные сети и химические реакции. Одним из ярких примеров является синхронизированная активность муравьёв Leptothorax acervorum. Эти муравьи большую часть времени остаются неактивными, но примерно три-четыре раза в час вся колония демонстрирует всплески активности. Это поведение не связано с внешними сигналами и возникает эндогенно, что делает его интересным объектом для исследования [1].

Одним из объяснений такого феномена является автокаталитическая модель, согласно которой активные муравьи могут стимулировать других после периода отдыха. Эта модель успешно воспроизводит наблюдаемые колебания активности, что подтверждается численными симуляциями. В данной работе мы представляем систему дифференциальных уравнений, которая описывает такое поведение, и анализируем условия возникновения устойчивых циклов активности.

Автокаталитическая модель муравьиной колонии предполагает, что каждый муравей может находиться в одном из трёх состояний: неактивное, активируемое и активное. Неактивный муравей остаётся в этом состоянии в течение фиксированного периода отдыха τ, после чего становится активируемым [2]. Такой муравей может либо спонтанно активироваться с вероятностью α, либо быть активированным при контакте с активными особями с вероятностью β. Таким образом, модель основана на механизме положительной обратной связи, когда активные муравьи увеличивают вероятность активации других членов колонии.

Численные исследования показали, что при определённых значениях параметров система переходит в режим устойчивых циклических колебаний. При этом синхронизированная активность сохраняется, если период отдыха превышает некоторый критический порог, а вероятность спонтанной активации остаётся низкой.

Для исследования динамики модели была проведена серия численных симуляций методом Монте-Карло. В данной работе используется асинхронная версия этого метода, при которой в каждый момент времени случайным образом выбирается муравей и проверяется его текущее состояние. В зависимости от него:

Активируемый муравей может активироваться спонтанно с вероятностью α или при контакте с активным муравьём с вероятностью β;

Активный муравей либо становится неактивным с вероятностью μ, либо случайным образом выбирает другого муравья для активации;

Неактивный муравей остаётся в своём состоянии, пока не истечёт период отдыха τ, после чего переходит в активируемое состояние.

Выбор временного шага δt связан с размером колонии N по правилу $\delta t = \frac{1}{N}$, что позволяет корректно учитывать частоту смены состояний.

Для описания динамики модели в пределе большого числа особей используются среднеполевые уравнения (1) – (3):

$$\frac{da}{dt} = -\mu a + b(\alpha + \beta a), \quad (1)$$

$$\frac{db}{dt} = -b(\alpha + \beta a) + \mu a(t-\tau), \quad (2)$$

$$\frac{ds}{dt} = \mu[a(t) - a(t-\tau)], \quad (3)$$

где $a(t)$ — доля активных муравьёв, $b(t)$ — доля активируемых неактивных, $s(t)$ — доля неактивных особей. Система обладает важными свойствами, в частности, она имеет первый интеграл:

$$A + B + C = H, \quad (4)$$

где H — произвольная постоянная. Это позволяет понизить порядок системы и свести её к системе двух нелинейных автономных уравнений:

$$\frac{dA}{dt} = -\mu A + \alpha B + \beta BA, \quad (5)$$

$$\frac{dB}{dt} = -\alpha B - \beta BA + \mu A(t-\tau). \quad (6)$$

Каждое из этих уравнений описывает динамику изменения доли активных (A) и активируемых (B) муравьёв во времени.

Первое уравнение показывает, что количество активных муравьёв изменяется под воздействием трех процессов:

1 Дезактивация муравьёв — происходит со скоростью $-\mu A$, где μ — вероятность ухода в неактивное состояние.

2 Спонтанная активация — происходит со скоростью αB, где α определяет вероятность того, что активируемый муравей станет активным сам по себе.

3 Автокаталитическая активация — муравьи могут активироваться при контакте с активными особями, что учитывается членом βBA, где β описывает вероятность этого процесса.

Второе уравнение описывает динамику активируемых муравьёв:

1 Часть активируемых муравьёв становится активными с вероятностями αB и βBA, поэтому появляется отрицательный вклад $-\alpha B - \beta BA$.

2 Часть активных муравьёв возвращается в состояние покоя (запаздывание) — они становятся активируемыми спустя время τ т, что описывается запаздывающим членом $\mu A(t-\tau)$.

Таким образом, система включает элементы положительной обратной связи (автокаталитическая активация) и запаздывания (возврат активных муравьёв в неактивное состояние). Переход от трех уравнений к двум означает, что система может быть описана в пространстве меньшей размерности.

Влияние запаздывающего аргумента τ. Запаздывание τ — важный параметр, который влияет на динамику системы. Запаздывание определяет ритм синхронизации.

Если τ Запаздывание τ играет ключевую роль в управлении процессами синхронизации. Этот параметр влияет на ритм активности элементов системы, определяя характер их взаимодействия.

Когда значение τ невелико, муравьи активируются с высокой частотой, но при этом их синхронизация остаётся слабой. Это обусловлено тем, что при малых значениях τ муравьи не успевают накопить достаточный запас "энергии" в неактивном состоянии, что приводит к разрозненным всплескам активности. В результате система проявляет неустойчивую динамику, в которой отдельные элементы функционируют независимо друг от друга. Напротив, при увеличении τ система приобретает выраженный ритмический характер. При больших значениях запаздывания начинают возникать регулярные колебания активности, формируя режим, в котором активность системы проявляется с периодом, приблизительно равным τ. Это приводит к фазированной синхронизации, в которой муравьи активируются волнообразно, демонстрируя циклическое поведение. Проведённый анализ показал, что при $\tau < \tau(c)$ система стремится к стационарному состоянию. В этом режиме доля активных муравьёв остаётся примерно постоянной, что свидетельствует о наличии равновесного состояния, при котором система стабилизируется без выраженных периодических изменений. При превышении критического значения $\tau(c)$ в системе появляются устойчивые предельные циклы, характеризующиеся регулярными колебаниями активности. Это означает, что динамика муравьёв становится периодической и предсказуемой, но при этом сохраняет вариативность фазовых переходов. Вопреки возможным предположениям, система не является хаотической. Согласно анализу Мун, сложные режимы колебаний, наблюдаемые при больших значениях τ, не приводят к истинному хаосу. Это подтверждает, что даже при высокой вариативности активности система остаётся предсказуемой и организованной.

Таким образом, динамика муравьёв демонстрирует свойства самоорганизующейся системы, в которой элементы взаимодействуют согласованно, поддерживая ритм активности в соответствии с внутренними параметрами. Данные уравнения позволяют формализовать условия, при которых возникают устойчивые осцилляции активности. На рисунке 1 приведён график, иллюстрирующий изменения активностей в модели среднеполевых уравнений.

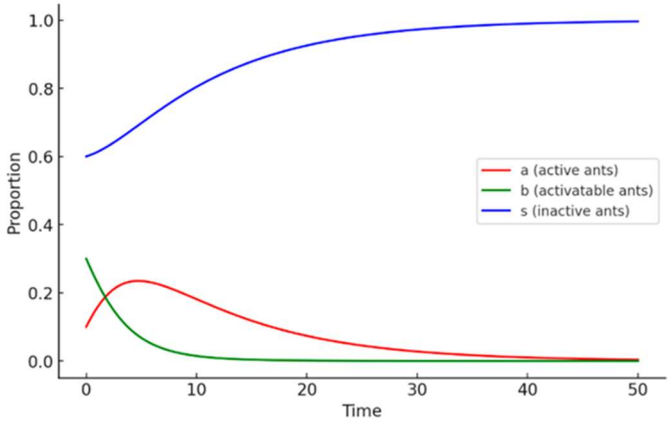


Рисунок 1 – График изменения активностей в модели среднеполевых уравнений

Значения на графике показывают, какая часть от общего числа муравьёв находится в каждом из этих состояний в разные моменты времени. Синхронизация всплесков активности в муравьиных колониях может быть объяснена автокаталитической моделью, согласно которой активные муравьи способствуют переходу неактивных особей в активное состояние. Этот процесс запускает цепную реакцию, при которой общая активность колонии возрастает в зависимости от текущего числа уже активных особей. Периодические колебания активности появляются при превышении критического значения периода отдыха. В крупных колониях динамика активности стабилизируется за счёт большого количества взаимодействий между особями, однако в небольших колониях осцилляции могут поддерживаться благодаря демографическому шуму. Данный фактор играет важную роль, поскольку вариативность численности активных муравьёв на малых временных интервалах предотвращает преждевременное затухание активности и способствует поддержанию ритмичности. Для исследования процессов синхронизации был применён метод Монте-Карло, позволивший воспроизвести динамику активности муравьёв на численном уровне. В ходе моделирования удалось выявить критические параметры, определяющие режимы синхронизации, и установить пороговые значения периода отдыха, при которых возникают устойчивые осцилляции. Результаты численного анализа подтвердили ключевую роль демографического шума в формировании периодических колебаний активности. Благодаря этому механизму система остаётся в динамическом равновесии, не переходя в полностью стационарное состояние. В таких условиях муравьиная колония демонстрирует свойства самоорганизации, обеспечивая согласованное поведение особей без центрального управления.

Полученные результаты подтверждают, что механизм синхронизации в биологических системах может быть объяснён относительно простыми правилами взаимодействия. Это открывает возможности для применения подобных моделей в более широком контексте, например, при изучении ритмической активности в популяционной динамике или нейробиологии. Будущие исследования могут быть направлены на учёт вариаций периода отдыха среди особей и анализ адаптивных преимуществ синхронизации активности в социальных насекомых.

Список использованных источников:

1. Self-Organization in Nonequilibrium Systems: From Dissipative Structures to Order Through Fluctuations / G. Nicolis, I. Prigogine // Wiley, New York, 1977. – P. 50-80.

2. An outline of the dynamics of animal populations / A.J. Nicholson // Aust. J. Zoo. 2, 1954. – P. 9-65.

3. Stability and Complexity in Model Ecosystems, Princeton University Press / R.M. May // Princeton, 1975. – P. 40-70.

4. Coupled oscillators and biological synchronization / S.H. Strogatz, I. Stewart // Sci. Amer. 269, 1993. – P. 102-109.

5. From Kuramoto to Crawford: exploring the onset of synchronization in populations of coupled Oscillators / S.H. Strogatz // Phys. Nonlinear Phenom. 143, 2000 — P. 5-25.

6. Arxiv2402.11391 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://arxiv.org/pdf/2402.11391, 2024. – 10с.

UDC 51-7:595.796

A MODEL OF SYNCHRONIZED RHYTHMIC ACTIVITY IN ANT COLONIES

Snitko R. E., Sazanovich M.I.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics[1], Minsk, Republic of Belarus

Tsegelnik V.V. – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

Annotation. The paper presents a mathematical model of synchronized rhythmic activity of ants through autocatalytic excitation, described by a system of differential equations with delay. Analysis of the stability of solutions showed that synchronization is preserved under certain parameters.

Keywords. Synchronization, self-organization, autocatalytic model, Leptothorax acervorum ants, activity oscillations, spontaneous activation, positive feedback, delay (τ), mean-field equations, delay differential equations, Monte Carlo method, asynchronous simulation, demographic noise, periodic oscillations, critical rest period value, stable activity cycles, neural networks, population dynamics, rhythmic activity, social insects.

УДК 004.928+519.673

МАТЕМАТИКА ИГРОВОГО БАЛАНСА

Бизюк Д.С., Тытуш Е.А., студенты гр.424403

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Примичева З.Н. – канд. физ.-мат. наук, доцент

Аннотация. Работа предлагает «новый комбинаторный подход» к анализу игрового баланса, основанный на свойствах циклических многогранников и решении задачи линейного программирования. Используя теорему о верхней границе числа kнаборов стратегий через $k-1$–мерные грани многогранника $C(n+1,m)$, получены гарантии отсутствия доминирующих («имбовых») стратегий. Разработаны явные конструкции для достижения асимптотически оптимального разнообразия стратегий. Реализация модели на языке $C++$ подтверждает теоретические результаты. На примере игр «Genshin Impact» и «SMITE» показано, как метод позволяет прогнозировать мету и динамически адаптировать баланс. Работа открывает перспективы применения в live-service проектах и расширения на нелинейные модели.

Ключевые слова. Модель линейного программирования, матрица затрат, вектор эффективности, целевая функция, стратегия, циклический многогранник, моментная кривая, k –мерная грань многогранника, параметрический анализ.

Введение.

Современные видеоигры — это сложные системы, которые демонстрируют впечатляющий прогресс в области цифровых мультимедийных технологий нового тысячелетия. Легко проследить тенденцию развития от обычных аркадных автоматов, до нынешних сложнейших игровых экосистем таких, как Total War: Warhammer III (2022), The Elder Scrolls V: Skyrim (2011) или Witcher 3: The Wild Hunt (2015). За каждым внутриигровым действием скрывается ряд сложнейших математических конструкций, которые создают главный интерес в любой современной видеоигре — выбор стратегии: какое снаряжение выбрать, по какому пути пойти, какое задание приоритетней, какой навык взять, чтобы прохождение стало интереснее. Разработчикам важно не допустить появление «имбовой» (всегда победной) стратегии, так как игроки будут всегда выбирать её и от этого терять интерес. От количества жизнеспособных стратегий напрямую зависит увлекательность игры, а значит и её успешность.

Оптимизация игровых стратегий через линейное программирование и циклические многогранники: теоретические основы и практика балансировки.

Формально выбор оптимальной стратегии игроком моделируется как линейная программа.

Пусть задана матрица затрат $A \in R_{m\times n}$, в которой элемент a_{ij} определяет количество ресурса типа $i, i = 1, \dots m$, необходимое для использования инструмента $j, j = 1, \dots n$. Вектор эффективности $c \in R^n$ задаёт полезность каждого инструмента j , через значение c_j (например, урон или боевая эффективность на единицу вложений как полезность инструмента). Вектор ресурсов $b \in R^m$ содержит доступные игроку объёмы ресурсов b_i (например, ресурсы в виде валюты, времени или вместимости инвентаря). Вектор вложений $x \in R^n$ представляет собой распределение ресурсов между инструментами, в котором x_j — количество ресурсов, инвестированных в инструмент j. В рамках модели линейного программирования задача выбора игроком оптимальной стратегии заключается в максимизации целевой функции $c^T x$ при ограничениях $Ax \le b, x \ge 0$.

Центральным объектом исследования выступает циклический многогранник $C(n,m)$.

Пусть $t_1, t_2, \dots, t_n$ – произвольные действительные числа, удовлетворяющие условию $0 < t_1 < t_2 < \cdots < t_n$, и M – произвольная постоянная такая, что $M \ge t^m$.

Моментной кривой в R^m называется

$$x: R \to R^m, \qquad t \to x(t) = (t, t^2, \dots, t^m) \in R^m.$$

Циклическим многогранником $C(n,m)$ называется выпуклая оболочка n различных точек $x(t_1), x(t_2), \dots, x(t_n)$ на моментной кривой.

Пример циклического многогранника C (7,3) на рисунке 1.

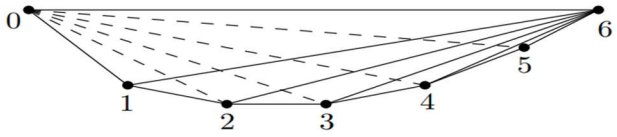


Рисунок 1 – Циклический многогранник C (7,3)

Определим конструкцию игровых систем (A, c) так, что $c = (1,1, \dots,1) \in R^n$ и $A = \big(x(t_1), x(t_2), \dots, x(t_n)\big)$. Модифицированной моментной кривой для матрицы затрат A называется $x: R \to R^m$,где $t \to x(t) = (t, M - t^2, t^3, M - t^4, \dots, t^m) \in R^m$, если m — нечетное число, и $t \to x(t) = (M - t, t^2, M - t^3, t^4, \dots, M - t^{m-1}, t^m)^T \in R^m$, если m — четное число.

Для описания оптимального сочетания стратегий воспользуемся формулой для нахождения количества k —мерных граней многогранника $C(n, m)$: при $n > m \geq 2$ циклический многогранник $C(n, m)$ одновременно максимизирует количество k —мерных граней для всех $k = 0,1, \dots m - 1$ среди m — мерных многогранников с n вершинами, при этом количество k — мерных граней $f_k\big(C(n, m)\big)$ определяется формулой

$$f_k\big(C(n,m)\big) = \sum_{l=0}^{\left[\frac{m}{2}\right]} C_l^{m-k-1} \cdot C_{n-m+l-1}^{l} + \sum_{l=\left[\frac{m}{2}\right]+1}^{m} C_l^{m-k-1} \cdot C_{n-l-1}^{m-l}.$$

Пусть $|L^k(A, c)|$ — число k —мерных наборов инструментов в игровой системе с матрицей затрат $A \in R_{m\times n}$, $a_{ij} \geq 0$, $i = 1, \dots m$, $j = 1, \dots n$, и вектором эффективности $c \in R^n$, $c_j \geq 0$, $j = 1, \dots n$.

Справедливы [1] следующие теоремы

Теорема 1 (о верхней границе для граней многогранника). Пусть n, m, k — фиксированные положительные целые числа такие, что $n > m \geq k \geq 2$. Тогда число k — мерных наборов инструментов $|L_k(A, c)|$ в любой игровой системе с матрицей затрат $A \in R_{m\times n}$ и вектором эффективности $c \in R^n$ удовлетворяет неравенству

$$|L^k(A, \cdots c)| \leq f_{k-1}\big(C(n+1, m)\big) - C_m^{k-1}.$$

Теорема 2 (о нижней границе для граней многогранника). Пусть n, m, k — фиксированные положительные целые числа такие, что $n > m \geq k \geq 2$. Тогда существуют явные конструкции игровых систем (A, c) с матрицей затрат $A \in R_{m\times n}$ и вектором эффективности $c \in R^n$ такие, что число k —мерных наборов инструментов $|L^k(A, c)|$ удовлетворяет условию

$$|L^k(A,c)| \geq \begin{cases} f_{k-1}\big(C(n,m)\big), \text{если } k < \frac{m}{2}, \\ \frac{f_{k-1}(C(n,m))}{2}, \text{если } k \geq \frac{m}{2}. \end{cases}.$$

Теорема 3. При $n > m = 3$ для числа $k-$мерных наборов инструментов $|L^k(A,c)|$ с матрицей затрат $A \in R_{m\times n}$ и вектором эффективности $c \in R^n$ справедлива оценка $|L^3(A,c)| \geq 2n-5$ и $|L^2(A,c)| \geq 3n-6$.

Теорема 4. Для $n > m = 2$ число $k-$мерных наборов инструментов $|L^k(A,c)|$ с матрицей затрат $A \in R_{m\times n}$ и вектором эффективности $c \in R^n$ удовлетворяет неравенству $|L^2(A,c)| \geq n-1$.

Практическое значение этих теорем заключается в том, что они задаёт объективные пределы разнообразия игровых стратегий, которые не могут быть преодолены простым увеличением количества игровых элементов.

В основе этих конструкций лежит модифицированная моментная кривая, в которой знаки координат специальным образом чередуются. Такое построение создаёт своеобразную «напряжённость» между различными типами ограничений, гарантируя, что стратегии, эффективные по одному параметру, будут иметь слабости по другим.

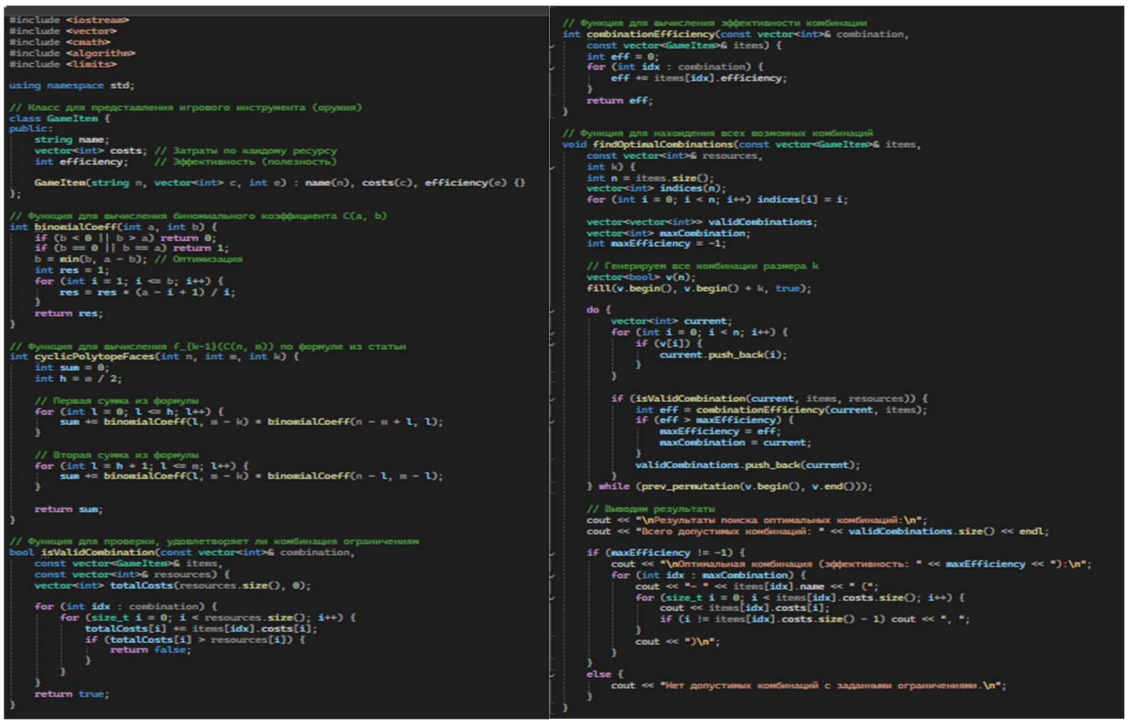
Параметрический анализ — это метод исследования, направленный на изучение влияния изменения параметров модели на её выходные результаты. В нашем случае параметрический анализ изучает зависимость оптимальных стратегий от изменения вектора ресурсов b. В рамках задачи линейного программирования $max\{c^T x: Ax \leq b, x \geq 0\}$ это позволяет прогнозировать сдвиги в игровой мете при обновлениях баланса.

При изменении вектора ресурсов b оптимальные решения задачи линейного программирования образуют параметрическое семейство. Уникальность решений гарантируется условиями дополняющей нежёсткости, а их поддержки (наборы) соответствуют граням многогранника, порожденного A и c.

Условия дополняющей нежёсткости: уникальность решения гарантируется только при строгом выполнении $min\{b^T y: Ay \leq c, y \geq 0\}$ для всех инструментов вне набора. Это предотвращает вырожденные случаи, когда несколько стратегий одинаково эффективны.

Важным математическим инструментом анализа игрового баланса являются триангуляции конусов, представляющие собой разбиение пространства решений задачи линейного программирования $max\{c^T x: Ax \leq b, x \geq 0\}$ на симплициальные ячейки. Каждая такая ячейка соответствует определённому набору стратегий ($supp(x)$), который становится оптимальным при конкретных значениях ресурсного вектора b.

Для наглядности представим работу теорему 1 на примере языка $C++$ на рисунке 2.



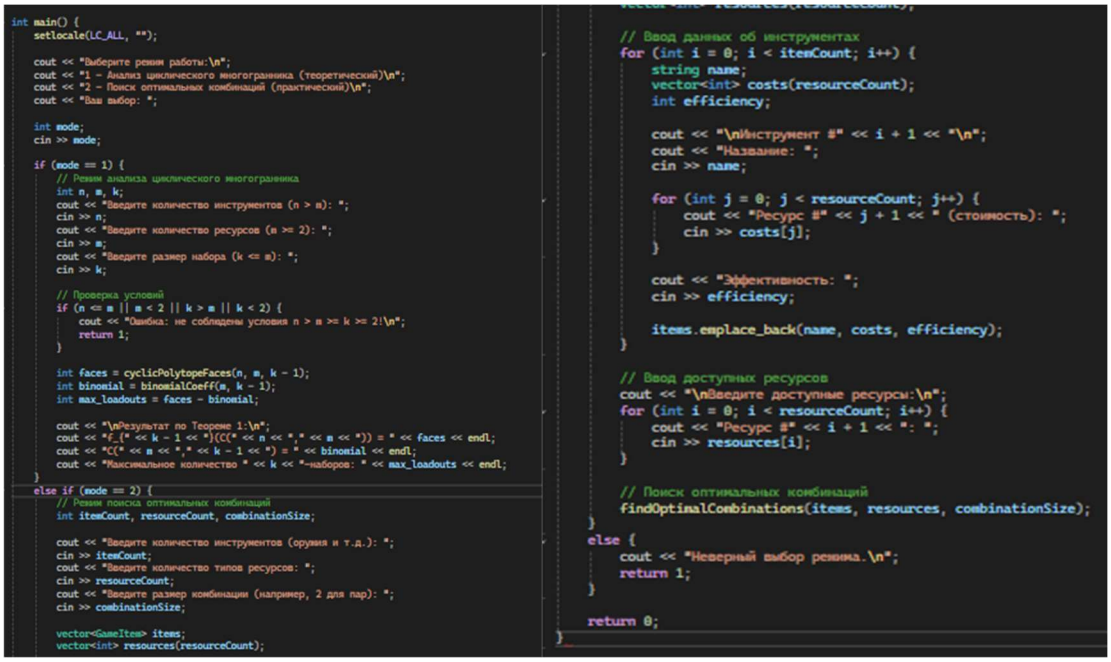


Рисунок 2 – Пример кода на $C++$

Практическое применение математики баланса в геймдизайне.

Возьмем пример из практики для игры «Apex Legends» на основе предложенной матрицы затрат A и вектора эффективности c.

Рассмотрим систему выбора оружия в «Apex Legends», в которой игроки распределяют материалы для крафтинга (создания оружия) (b_1) и время на поиск (b_2, в секундах). Имеют место параметры:

Инструменты (оружие/апгрейды): $n = 5$ (например, «Пистолет P2020», «ПП R-99», «Пушка Хаос», «Снайперская винтовка Лонгбоу», «Гранатомёт»);

Ресурсы:$m = 2$ (материалы, время).

Тогда матрица затрат A примет вид

$$A = \begin{bmatrix} 50 & 120 & 200 & 150 & 250 \\ 10 & 25 & 40 & 30 & 60 \end{bmatrix},$$

в которой элементы первой строки — стоимость в материалах, а второй — время на поиск (в секундах); вектор эффективности запишется как $c = (4{,}8{,}12{,}9{,}15)$, где c_j — комбинированный показатель (урон/сек + точность + мобильность).

Пример из практики.

Пусть игрок начинает матч с 180 материалами (b_1) и 50 секундами (b_2). Необходимо выбрать оптимальный набор оружия.

Решение.

Воспользуемся кодом на $C++$, написанным ранее. В консоль впишем все элементы данной матрицы и найдем оптимальную пару оружия.

Работа кода на примере задачи из практики для игры «Apex Legends» на основе предложенной матрицы затрат A и вектора эффективности c видна на рисунке 3.

```
Выберите режим работы:
1 - Анализ циклического многогранника (теоретический)
2 - Поиск оптимальных комбинаций (практический)
Ваш выбор: 2
Введите количество инструментов (оружия и т.д.): 5
Введите количество типов ресурсов: 2
Введите размер комбинации (например, 2 для пар): 2

Инструмент #1
Название: p2020
Ресурс #1 (стоимость): 50
Ресурс #2 (стоимость): 10
Эффективность: 4

Инструмент #2
Название: R-99
Ресурс #1 (стоимость): 120
Ресурс #2 (стоимость): 25
Эффективность: 8

Инструмент #3
Название: Chaos
Ресурс #1 (стоимость): 200
Ресурс #2 (стоимость): 40
Эффективность: 12

Инструмент #4
Название: Longbow
Ресурс #1 (стоимость): 150
Ресурс #2 (стоимость): 30
Эффективность: 9

Инструмент #5
Название: GrenadeLauncher
Ресурс #1 (стоимость): 250
Ресурс #2 (стоимость): 60
Эффективность: 15

Введите доступные ресурсы:
Ресурс #1: 180
Ресурс #2: 50

Результаты поиска оптимальных комбинаций:
Всего допустимых комбинаций: 1

Оптимальная комбинация (эффективность: 12):
- p2020 (50, 10)
- R-99 (120, 25)
```

Рисунок 3 – выполнение примера из практики для игры «Apex Legends»

Видно, что наилучший набор — {ПП R-99, Пистолет P2020} с эффективностью 12.

Благодаря данным вычислениям, можно получить гарантированную смену стратегий при росте ресурсов, обеспечить отсутствие «имбовой» (всегда выигрышной) стратегии и прогнозировать поведение игроков, стремящихся оптимизировать свою игру.

Применение циклического многогранника.

Используя формулу расчёта количества граней циклического многогранника при $m = 3$ (треугольные грани), получим $f_2\big(C(n,3)\big) = 2n - 4$, то есть в игре с 3 ресурсами максимальное число троек оружия, которые могут быть оптимальными, растёт линейно с n. В игровом дизайне каждой вершине такого многогранника соответствует определённая игровая стратегия или комбинация игровых элементов. Например, в стратегических играх жанра MOBA вершины могут представлять различные комбинации предметов экипировки, а в RPG — наборы навыков персонажа.

Рассмотрим примеры.

1. Стратегическая игра *Total War: Warhammer III*.

Каждая вершина многогранника может соответствовать уникальной комбинации юнитов. При $n = 10$ юнитах и $m = 3$ ресурсах (золото, мана, время) количество рёбер (парных стратегий) вычисляется

по формуле $f_1\big(C(n,3)\big) = \big(n\cdot(n-1)\big)/2 - 3\cdot(n-3)$. Отсюда при $n = 10$ получим $f_1\big(C(10,3)\big) = (10\cdot 9)/2 - 3\cdot 7 = 24$, что означает существование 24 парных комбинации юнитов, обеспечивающих разнообразие тактик.

2. MOBA-игры (Dota 2, League of Legends).

Количество рёбер циклического многогранника $C(n,3)$ растёт квадратично с увеличением n. Например, при добавлении нового предмета имеем

$$\Delta f_1\big(C(n,3)\big) = \big((n+1)\cdot n\big)/2 - 3\cdot(n-2) - \big(n\cdot(n-1)\big)/2 - 3\cdot(n-3) = n-3,$$

то есть каждый новый элемент увеличивает число рёбер на $n-3$, расширяя границы меты и предотвращая доминирование одной сборки, поэтому патчи часто добавляют новые предметы.

Практическое значение теорем (о верхней и нижней границах циклического многогранника) в геймдизайне.

Для иллюстрации рассмотрим конкретный пример из популярной MOBA-игры League of Legends. При моделировании системы предметов экипировки с $m = 3$ основными ограничениями выбора стратегии (золото, время, вместимость инвентаря) теорема предсказывает, что число эффективных парных комбинаций предметов будет расти линейно с увеличением общего числа предметов n, но не быстрее, чем $f_1\big(C(n,3)\big) = 2\cdot n\cdot(n-1) - 3\cdot(n-3) = 2n^2 - 5n + 9$. Поэтому разработчики добавляют новые предметы, поскольку каждый новый элемент увеличивает число рёбер на $\Delta f_1\big(C(n,3)\big) = n-3$. Это позволяет разработчикам контролируемо расширять стратегическое пространство: рост вариантов остаётся предсказуемым и управляемым, избегая экспоненциальной сложности.

Оптимальные конструкции стратегических систем представляют особый интерес для практического геймдизайна. Аппарат математического анализа помогает показать существование явных способов построения матрицы ограничений A и вектора эффективности c , которые обеспечивают асимптотически максимальное разнообразие стратегий.

Рассмотрим пример реализации при $m = 2$ ограничений (например, золото и мана) и n инструментов. Построим матрицы A и c следующим образом $A = \begin{bmatrix} 1^2 & 2^2 & 3^2 & \dots & n^2 \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix}$, $c = (1,2,\dots,n)$. Оптимальными наборами являются все пары соседних инструментов $\{j, j+1\}$ при $j \in [1; n-1]$, поскольку для каждой пары $\{j, j+1\}$ существует ресурсный вектор b, делающий её единственно оптимальной.

Пусть y_1- «цена» золота: сколько эффективности теряется или приобретается при изменении количества золота на 1 единицу, y_2- «цена» маны: сколько эффективности теряется или приобретается при изменении количества маны на 1 единицу. Для пары $\{j, j+1\}$ получим систему:

$$\begin{cases} y_1\cdot j^2 + y_2 = j, \\ y_1\cdot (j+1)^2 + y_2 = j+1, \end{cases}$$

решением которой являются положительные значения $y_1 > 0$ и $y_2 > 0$. Это подтверждает, что инструменты $j, j+1$ полностью расходуют ресурсы $b_1 = j^2 + (j+1)^2$ (золото) и $b_2 = 2$ (мана) и ни один из инструментов не доминирует: игрок вынужден выбирать между ними, что обеспечивает баланс.

Моментная кривая как модель игрового прогресса.

Параметр t в игровом дизайне отражает прогрессию игрока, связывая уровень его возможностей с доступными ресурсами. Например, 1) в *The Witcher 3* рост t (от 1 до 5) открывает доступ к более сложным зельям: на начальных уровнях ($t = 1$) игрок ограничен базовыми эликсирами, а на высоких ($t = 5$) — требуется редкий ресурс b_5; 2) в *Genshin Impact* рост t моделирует силу персонажа: линейный рост атаки (t) сочетается с квадратичными затратами на прокачку (t_2), что вынуждает игроков менять стратегии на поздних этапах.

Такие модели, основанные на модифицированных моментных кривых, балансируют прогрессию и ограничения. Стартовые стратегии теряют эффективность, а новые комбинации требуют планирования ресурсов, предотвращая доминирование одной тактики. Принцип модифицированной моментной кривой хорошо знаком опытным геймдизайнерам, поскольку он проявляется, например, в классическом балансе между оружием с высокой мощностью, но низкой скорострельностью, и легким вооружением, которое наносит меньше урона, зато позволяет атаковать быстрее.

Польза параметрического анализа при балансировке игр.

Параметрический анализ изучает влияние изменения вектора ресурсов b на оптимальные стратегии. Например, в RPG (*World of Warcraft*) рост уровня персонажа открывает новые комбинации экипировки. Условия дополняющей нежёсткости позволяют гарантировать уникальность стратегий: $x_i > 0 \Rightarrow y_i = 0, y_i > 0 \Rightarrow x_i = 0$, где x_i — затраченный ресурс, y_i — «свободный ресурс», поскольку исключаются вырожденные случаи.

Параметрический анализ также оценивает чувствительность системы к изменениям, которая выражается через коэффициенты регрессии (b_i) в моделях прогнозирования; параметры игровых объектов (урон, стоимость, время восстановления).

Рассмотрим примеры из игровой индустрии.

1. MOBA-игры (Dota 2**)**, в которой параметр стоимости предмета «Клинок беспорядка» $(x_3 = 2050)$. Уменьшение стоимости до 1800 золота приводит к увеличению частоты его выбора игроками на 30%, что аналогично снижению коэффициента b_3 в регрессии, уменьшающего вес фактора «цена предмета» в общей эффективности. Принцип дополняющей нежёсткости работает так: если какой-то элемент системы (например, игровой предмет или переменная в модели) становится слишком сильным или «перевешивающим», его параметры меняют, чтобы избежать дисбаланса.

2. MMORPG (World of Warcraft), в которой параметром является количество очков чести для покупки экипировки b_1 Увеличение b_1 с 3000 до 4000 смещает оптимальные стратегии игроков в сторону комбинаций с меньшей ресурсоёмкостью, что соответствует изменению вектора B в уравнении $Y = X \cdot B$ при добавлении новых данных.

3. Apex Legends.

Пусть x — это переменные решения, отражающие выбор игрока в рамках ограничений (очки чести). При увеличении материалов при $b_1 = 250$ оптимальным становится «Пушка Хаос» $(x_3 = 1)$, эффективность 12 + «Пистолет P2020» $(x_1 = 1)$, общая эффективность 16. Если время сократится до $b_2 = 300$, игрок сможет взять только «ПП R-99» $(x_2 = 1)$, эффективность 8.

Интерпретация через циклический многогранник.

Пусть $m = 2$, $n = 5$.Тогда число ребер $f_1\big(C(5,2)\big) = 2n - 4 = 6$. Максимальное число парных наборов равно $6 - 2 \cdot 1 = 4$, что соответствует 4 возможным комбинациям пар оружия (например, {R-99 + P2020}, {Хаос + Лонгбоу} и т. д.). В сезоне 16 добавление «Немезис» $(n = 6)$ увеличивает число рёбер до 8, предотвращая доминирование одной сборки, что согласуется с теоремой о верхней границе. Модель показывает, как ограничения на ресурсы в «Apex Legends» формируют разнообразие стратегий. Теоретический максимум парных наборов (4) приводит разработчиков к регулярному добавлению нового оружия, что позволяет им расширять мету, сохраняя баланс.

Вывод. Математический аппарат циклических многогранников и линейного программирования не только объясняет существующие механики игр, но и предоставляет инструменты для проектирования динамического баланса. Примеры из Warhammer III, SMITE и Genshin Impact демонстрируют превращение теории в практику, обеспечивая долгосрочную вовлечённость игроков.

Список использованных источников:

1. *McMullen P. The maximum numbers of faces of a convex polytope // Mathematika. – 1970. – P. 179–184.*
2. *De Loera J., Rambau J., Santos F. Triangulations: Structures for Algorithms and Applications. – Heidelberg: Springer, 2010. – Vol. 25. – P. 336*
3. *Hanguir O., Ma W., Ryan C.T. Designing optimization problems with diverse solutions // International Conference on Integer Programming and Combinatorial Optimization. – 2023. – P. 172–186.*
4. *Knight V. Maths behind a MOBA: Using Linear Programming to model and solve a problem. – 2015. – URL: https://vknight.org/Computing_for_mathematics/Assessment/28_IndividualCoursework/PastCourseWorks/2015-2016/knight2015-2016.pdf*
5. *Smith L. et al. Nonlinear balance models in Genshin Impact // IEEE Transactions on Games. – 2022. – P. 45–56.*
6. Balinski M. On the graph structure of convex polyhedra // Pacific Journal of Mathematics. – 1961. – P. 431–434.
7. Eisenbrand F. Parametric integer programming in fixed dimension // Mathematics of Operations Research. – 2008. – P. 839–850.
8. Тиморин В.А. Комбинаторика выпуклых многогранников. – М.: МЦНМО (Летняя школа «Современная математика»), 2002. – С. 11–15.
9. Ziegler G.M. Lectures on Polytopes. – New York: Springer, 1995. – Vol. 152 (Graduate Texts in Mathematics). – P.254

UDC 004.928+519.673

MATHEMATICS OF GAME BALANCE

Bizyuk D.S., Tytush E.A., students of group 424403

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics
Minsk, Republic of Belarus

Primicheva Z.N. – PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor, Department of Higher Mathematics

Annotation. *The work proposes a "new combinatorial approach" to analyzing game balance, based on the properties of cyclic polytopes and solving linear programming problems. Using the theorem on the upper bound of the number of k strategy sets via the $k-1$-dimensional faces of the polytope $C(n+1,m)$, guarantees are obtained for the absence of dominant strategies. Explicit constructions have been developed to achieve asymptotically optimal diversity of strategies. The implementation of the model in $C++$ confirms the theoretical results. Using the examples of the games "Genshin Impact" and "SMITE," it is demonstrated how the method allows predicting the meta and dynamically adapting balance. The work opens prospects for application in live-service projects and extension to nonlinear models.*

Keywords. *Linear programming model, cost matrix, efficiency vector, objective function, strategy, cyclic polytope, moment curve, k –dimensional face of a polytope, parametric analysis.*

УДК 519.212

ПАРАДОКС МОНТИ ХОЛЛА В ПОВЕДЕНИИ ПОТРЕБИТЕЛЯ

Радвилович Д.Д., Рубцова А.С., Хартанович У.И., студенты гр.473901

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Лобанок Л.В. – старший преподаватель, ВМ

Аннотация. В статье рассматривается парадокс Монти Холла, его влияние на поведение человека и применение в маркетинге. Объясняется, почему для маркетологов важно выделять преимущества товаров с помощью дифференциации и эмоциональных стратегий, чтобы изменить предпочтения потребителей.

Ключевые слова. Парадокс Монти Холла, поведение потребителя, маркетинг.

Парадокс Монти Холла – известная задача из теории вероятностей, решение которой зачастую кажется интуитивно неверным. Его применение можно найти во многих областях: психологии, статистике, финансов, но также его можно использовать и в маркетинге, точнее, при рассмотрении поведения потребителя.

Кратко опишем проблему: перед игроком есть три одинаковые двери. За одной из них находится приз, за двумя оставшимися – корова. Ведущий просит игрока выбрать одну из трёх дверей. Предположим, игрок выбирает дверь под номером 1. После этого ведущий открывает одну из невыбранных дверей, пусть это будет номер 3, за которой находится корова. Игроку предоставляется возможность поменять свой выбор. В этот момент большинство людей решит, что изменение своего первоначального выбора ни к чему не приведет, так как шанс, что за каждой из оставшихся дверей будет приз равен 50\50. Но, если рассмотреть этот выбор со статистической точки зрения, мы увидим, что это не так. Изначально, шанс, что за выбранной нами дверью находится приз равен 1\3, а за двумя оставшимися – 2\3. После открытия ведущим двери под номером 3, шанс, что приз находится за первой дверью останется тем же – 1\3, а вот шанс того, что за дверью под номером 2 находится приз повысится и станет равным 2\3 , так как дверь под номером 3 уже открыта и мы знаем, что за ней находится корова. Таким образом мы делаем вывод, что свой выбор всегда выгоднее менять.

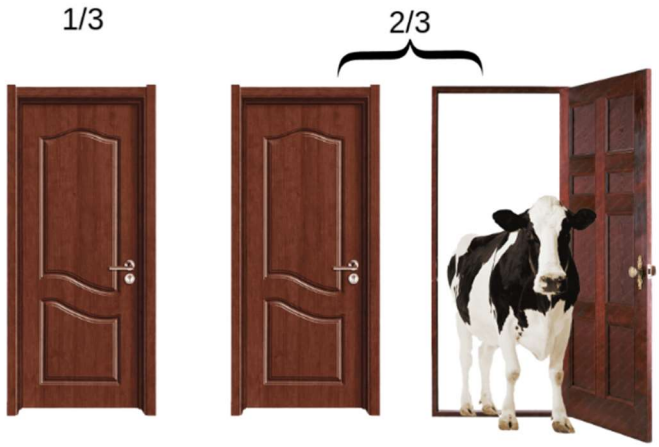


Рисунок 1 — Иллюстрация парадокса

Данный парадокс легко подтверждается с помощью простой симуляции[2], результат которой почти всегда будет одинаков с погрешностью в ±5%(рис.2)

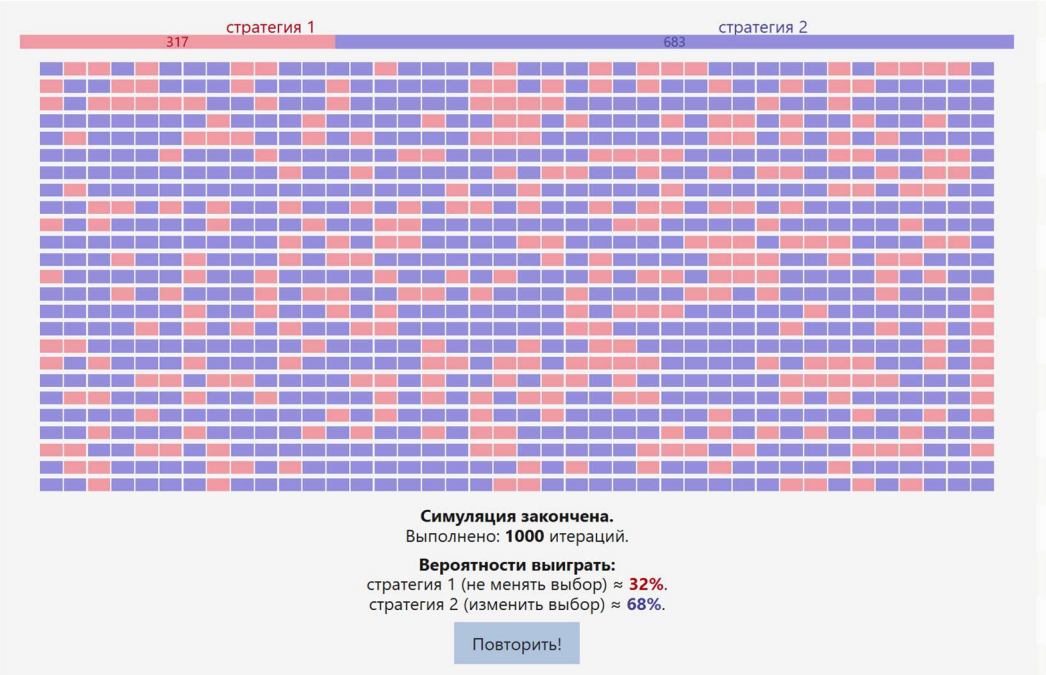


Рисунок 2 — Результат численной симуляции парадокса

Тем не менее люди склонны оставаться при своем первоначальном выборе. Это подтверждается следующим опросом. По его результат в большинстве случаев свой выбор изменяли те, кто знает, как работает парадокс Монти Холла.

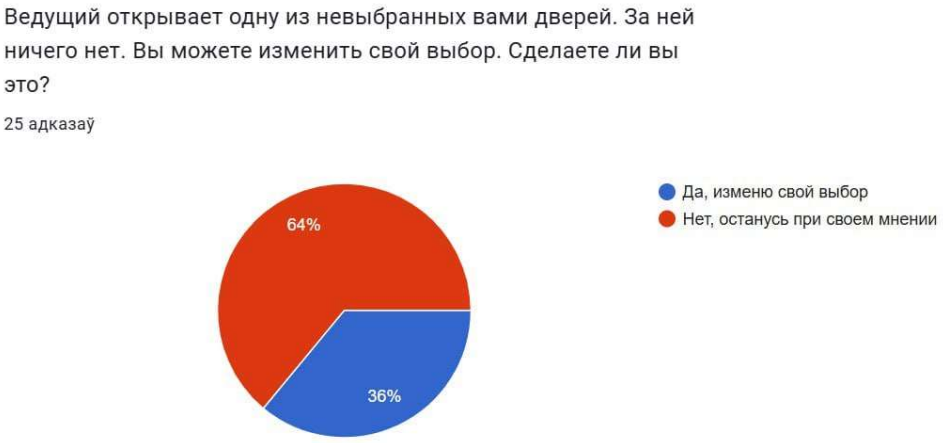


Рисунок 2 — Результат опроса среди студентов

Такое поведение можно объяснить определенным фактором: все двери одинаковы и вниманию человека не за что зацепиться, в таких условиях человек будет склонен полагаться на свою интуицию, а не рационально оценивать обстановку.

Для анализа поведения потребителя крайне важно учитывать данный парадокс, так как потребитель будет отстаивать свой первоначальный выбор, если не будет видеть существенных отличий в характеристиках предлагаемых товаров. То есть изменение решения будет возможно только в случае, если альтернативное предложение будет значительно выгоднее. Из этого можем сделать вывод, что зачастую игра на эмоциях будет более результативна, так как потребительский выбор будет сделан нерационально.

Теперь рассмотрим парадокс Монти Холла с точки зрения маркетинга. В роли игроков будут выступать покупатели, а в роли ведущего – маркетолог. Покупатель просматривает все доступные ему модели желаемого товара и отбрасывает те, которые не подходят ему по тем или иным характеристикам. Он остаётся с n-ным количеством товаров, и выбирает один из них. Маркетолог как ведущий может изменить решение с помощью информации. Если в изначальном варианте ведущий открывал одну из дверей и показывал то, что находится за ней, то в этом случае маркетолог может попробовать изменить решение покупателя при помощи рекламы. Задачей маркетолога станет

попытка максимально дифференцировать его продукт от всех остальных. Наипростейшими вариантами выполнения этой задачи будут являться четкое прописывание преимуществ вашего товара и создание более цепляющей рекламы. Таким образом, маркетолог должен показать, что все товары разные.

Список использованных источников:

1. *Wikipedia [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/ – Дата доступа: 21.03.25.*
2. *Симулятор дверей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://monty-hall.tktk.in/ –Дата доступа: 21.03.25.*
3. *CyberLeninka [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/ – Дата доступа: 21.03.25.*

UDC 519.212

MONTY HALL'S PARADOX IN CONSUMER BEHAVIOR

Radvilovich D.D., Rubtsova A.S., Khartanovich U.I.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics[1], Minsk, Republic of Belarus

Lobanok L.V. – Senior Lecturer of Higher Mathematics

Annotation. The article examines the Monty Hall paradox, its impact on human behavior and its application in marketing. Explains why it is important for marketers to highlight the benefits of products through differentiation and emotional strategies to change consumer preferences.

Keywords. Monty Hall paradox, consumer behavior, marketing.

ФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В КОМПЬЮТЕРНОМ ЗРЕНИИ

Рында Р.Д., Василевский В.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Цегельник В. В. – доктор физико-математических наук

Рассмотрены и реализованы алгоритмы оценки фрактальной размерности изображений методом коробочного счёта, фрактального сжатия с использованием итерационных функциональных систем (IFS) и сегментации изображений на основе локальной фрактальной размерности. Программная реализация на Python демонстрирует возможность количественного анализа сложности текстур и контуров.

Современные системы компьютерного зрения требуют разработки методов, способных описывать сложные, нерегулярные структуры изображений, характерные для природных сцен и текстур. Фрактальный анализ, основанный на принципе самоподобия, позволяет количественно оценить сложность изображения через вычисление фрактальной размерности. В Работе реализованы два основных подхода:

- Оценка фрактальной размерности изображения методом коробочного счёта, позволяющая определить степень заполнения пространства объектом.
- Фрактальное сжатие и сегментация изображений посредством аппроксимации фрагментов изображения аффинными преобразованиями, что обеспечивает масштабную инвариантность при декодировании.

Фрактальная размерность D характеризует, насколько «изрезанным» или сложным является объект. Метод коробочного счёта основывается на следующем принципе: изображение покрывается сеткой с различными размерами ячеек, и для каждого масштаба ϵ определяется число заполненных «коробок» $N(\epsilon)$. При наличии самоподобной структуры между $N(\epsilon)$ и ϵ устанавливается степенное соотношение:

$$N(\epsilon) \sim \epsilon^{-D}, \quad (1)$$

откуда фрактальная размерность вычисляется как выражение вида:

$$D = \frac{-dlogN(\epsilon)}{dlog\epsilon}. \quad (2)$$

Кроме того, рассмотрена методика фрактального сжатия, когда изображение представляется набором аффинных преобразований, описывающих взаимное преобразование повторяющихся фрагментов. Приведённые математические инструменты служат базой для анализа изображений и построения моделей, способных адекватно описывать сложность объектов.

Теперь обсудим применение именно в компьютерном зрении. Реализация алгоритмов выполнена на Python с использованием библиотек OpenCV, NumPy и Matplotlib. Два ключевых примера, реализованных в программах, демонстрируют практическое применение фрактального анализа:

- Оценка фрактальной размерности методом коробочного счёта. Изображение (например, фотография береговой линии или текстуры) предварительно бинаризуется, после чего покрывается сеткой с различными размерами ячеек. По зависимости $logN(\epsilon)$ от $log(1/\epsilon)$ проводится линейная регрессия, позволяющая вычислить фрактальную размерность D. Результаты эксперимента подтверждают, что данная методика позволяет количественно оценить степень сложности структуры изображения и может быть использована для выделения характерных признаков при распознавании объектов.
- Фрактальное сжатие и сегментация изображений. Второй пример демонстрирует, как исходное изображение разбивается на небольшие блоки (range-блоки) и для каждого из них ищется наиболее подходящий блок (domain-блок) с последующим вычислением параметров аффинного преобразования. Полученный фрактальный код позволяет итеративно восстановить изображение с сохранением основных структурных особенностей, обеспечивая масштабную инвариантность. Дополнительно, локальная фрактальная размерность вычисляется для отдельных блоков изображения, что позволяет сформировать карту текстурной сложности и на её основе выполнить сегментацию изображения. Такой подход позволяет различать области с разной текстурной структурой (например, природные ландшафты, где леса, водные поверхности и городские зоны обладают различными значениями D.

Полученные результаты демонстрируют, что фрактальный анализ является мощным инструментом для описания и анализа сложных изображений. Метод коробочного счёта позволяет надежно вычислить фрактальную размерность, отражающую степень «шероховатости» и самоподобия структуры. Фрактальное сжатие, основанное на итерационных функциональных системах, позволяет существенно уменьшить объём данных без потери ключевых визуальных особенностей, а сегментация на основе локальной фрактальной размерности открывает возможности для автоматического разделения изображения на области с различными текстурными характеристиками. Эти методы могут быть использованы как самостоятельные алгоритмы или в комбинации с традиционными методами компьютерного зрения для повышения точности распознавания и классификации объектов.

Список использованных источников:

1. Мандельброт, Б. Фрактальная геометрия природы / Б. Мандельброт. – М. : Ики, 2010. – 656 с.
2. Barnsley, M. Fractals Everywhere / M. Barnsley. – New York : Academic Press, 1993. – 534 с.

УДК 517.938

СТРАННЫЕ АТТРАКТОРЫ

Махонь М.В., студент гр.473902, Прокашко Т.И., студент гр.473902

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Лобанок Л.В. – старший преподаватель, ВМ

Аннотация. Данная статья посвящена изучению сущности аттракторов и странных аттракторов, в частности. Исследуется аттрактор Лоренца, также аттрактор Плыкина и соленоид Смейла – Вильямса.

Ключевые слова. Аттрактор, фазовое пространство, эффект бабочки, странный аттрактор, динамические системы, траектория, математическая модель, моделирование сложных систем.

В современном мире, все более актуальной становиться вопрос прогнозирования поведения сложных систем. Например, важно понимать долгосрочное поведение сложных систем, таких как климат, экономика или биологические экосистемы. Именно в этих сферах понятие аттрактор и находит наибольшее применение.

Так как аттрактор – это сложная математическая система, то первые исследования аттракторов начались в 17-18 веках Исааком Ньютоном и Готфридом Лейбницем с началом изучения механических систем. Более глубокое понимание сложных систем стало возможным в 20 веке. Термин «странный аттрактор» был введен Дэвидом Рюэллем и Флорисом Такенсом для описания аттрактора, возникающего в результате серии изменений системы, описывающей поток жидкости. Также несколько открытий сделал Эдвард Лоренц, сначала открывший в 1960-х годах концепцию “эффекта бабочки” а после, в 1963 году, разработал свою модель, названную в итоге странным аттрактором Лоренца.

Кстати, на размышления об эффекте бабочки Лоренца натолкнул один неудавшийся подсчет. Работая в службе прогноза погоды, однажды он решил автоматизировать свою работу и внести данные в компьютер. Цифры в компьютере должны были дать тот же, ранее полученный, результат, но результат вдруг оказался совсем другим – расчеты с внесенными данными обещали совсем другую погоду. Проверив несколько раз и убедившись, что ошибки в числах не было, он наконец понял – причина в округлении до трех знаков. Число вроде 0,673122 сокращалось до 0,673. Получается, разница всего в одну тысячную привела к серьезному искажению прогноза – вместо ясного дня появлялась гроза и так далее. Так Лоренц начал интересоваться природой хаоса и стал одним из создателей «теории хаоса».

В последующие десятилетия исследователи стали находить и описывать множество других аттракторов. Эти открытия сыграли ключевую роль в понимании хаоса и его приложений в различных областях, от физики и биологии до экономики и инженерии.

Аттрактор — это множество точек в фазовом пространстве динамической системы, к которым стремятся траектории системы. Чтобы разобраться в этом понятии, нужно понять, что аттрактор — это понятие, несколько привнесённое в математику. То есть, он бы не появился в математическом моделировании, если бы не существовало соответствующих физических процессов. Каждый из нас является сложной системой, молекулярным агрегатом, термодинамической системой и так далее, позже мы еще затронем этот факт. То есть это очень многопараметрическая система, которая функционирует по самым-самым разным законам и соотношениям. Так вот, любые процессы, которые протекают в окружающей действительности, могут быть каким-то образом формализованы. Для того, чтобы эти процессы описать, нужно в них выявить какую-то закономерность. По причине того, что изменения в разных частях системы неоднородны, возникает необходимость введения фазового пространства.

Фазовое пространство — это абстрактное математическое пространство, в котором каждая точка представляет собой состояние динамической системы. Каждое состояние описывается всеми возможными переменными системы, такими как положение, скорость, температура, энергия и другие параметры. Также каждая точка фазового пространства содержит вектор изменения. То есть, фазовое пространство описывает то, как система меняется в каждой точке.

Далее, для простоты понимания приведем пример: допустим вы каждый день ходите в университет. Следовательно, у такой системы будет повторяемость и траектория. Причем это не просто формальная траектория, а вполне конкретная траектория изменения таких параметров, как ваше кровяное давление, температура тела, частота сердцебиения, перемещение в пространстве. Соответственно, есть совокупность факторов, которые каким-либо образом привязаны к определенной траектории. В этом случае аттрактор позволяет описать более сложное поведение этой системы. Если обычно утром вы просыпаетесь, пьёте кофе, спускаетесь на лифте, доезжаете до университета и

заходите в аудиторию, то это можно назвать стандартной траекторией в аттракторе. Но даже если сломается лифт и вам придётся идти пешком, вы всё равно будете стремиться добраться до университета вовремя. И таких отклонений может возникнуть бесконечно много, но динамическая система в фазовом пространстве будет стремиться к начальному ее состоянию, практически независимо от начального положения и соотношения переменных. Именно совокупность предельно допустимых изменений и будет называться аттрактором или же регулярным аттрактором. Это такая математическая модель поведения системы, которая наглядно и удобно показывает, как может развиваться система.

Когда дело доходит до более сложных процессов, в которых нет цикличности, нет регулярности, и самое важно, что сложно сказать, как будет развиваться система, потому что количество влияющих факторов становится очень велико и коэффициент каждого фактора непредсказуем. Именно поэтому вслед за «регулярным аттрактором» вводится более сложное понятие, как «странный аттрактор». При всем этом система не становится хаотической, так как хаос – это абсолютная непредсказуемость движения, когда в свою очередь, если вы проведете миллиарды экспериментов над системой с моделью странного аттрактора, получится так, что часть фазового пространства будет попросту пуста, так как начальные условия создают определенные ограничения, а часть пространства будет занята самыми различными траекториями, по которым она может двигаться. К слову, поэтому второе название странного аттрактора, а именно «хаотический аттрактор», не совсем верно. Однако, предсказать, как именно будет изменяться система со временем очень сложно.

Аттракторами могут быть точки, кривые, а также произвольные сложные подмножества точек фазового пространства, в том числе фрактальные множества. В последнем случае аттракторы называются странными аттракторами. Далее подробнее рассмотрим один из самый ярких примеров странного аттрактора – аттрактор Лоренца

Лоренц постоянно пытался создать свою собственную математическую модель атмосферы параллельно максимально ее упрощая и у него это получилось, он создал свою модель, которая представлена на рисунке 1, которая была сведена всего к трем числам x, y, z.

$$\dot{x} = \sigma(y - x)$$
$$\dot{y} = x(r - z) - y$$
$$\dot{z} = xy - bz$$

Рисунок 1 – Система дифференциальных уравнений Лоренца, описывающая упрощенную модель атмосферы

При следующих значениях параметров: σ=10, r=28, b=8/3, эта модель создает аттрактор Лоренца.

Каждая точка x, y, z в пространстве представляет собой состояние атмосферы. Эволюция происходит в соответствии с векторным полем. Например, первая координата может представлять температуру, вторая - скорость ветра, а третья - влажность.

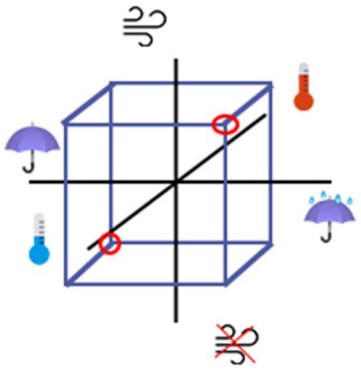


Рисунок 2 – Упрощенный пример фазового пространства для уравнений Лоренца

Таким образом множество возможных состояний атмосферы можно заключить в условный куб. В правом верхнем ближнем углу которого будет холодно, ветрено и дождливо. В левом дальнем нижнем углу все наоборот. Когда мы следим за траекторией движения точки в пространстве, мы следим за изменением погоды. Однако такие модели из-за упрощения часто называют “игрушечными”, то есть используемые для общего понимания черт сложного поведения.

Давайте рассмотрим две атмосферы, являющиеся центрами двух шаров, которые расположены очень близко друг к другу, настолько близко, что они почти идентичны (рисунок 3).

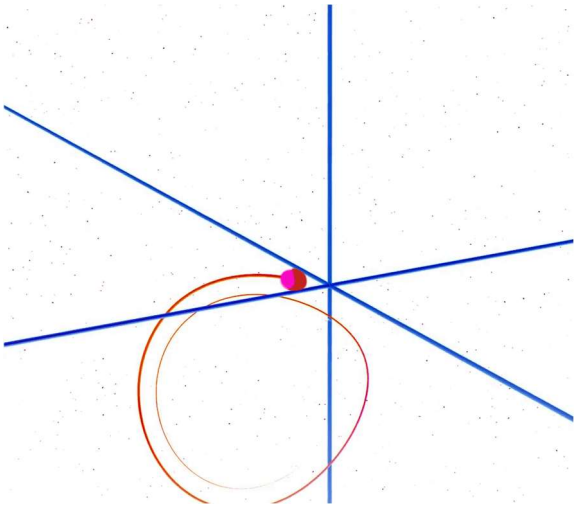


Рисунок 3 – Траектории в начале движения

Сначала две траектории шаров почти неразличимы, но спустя время они начинают отклоняться и в итоге две атмосферы становятся совершенно разными (рисунок 4).

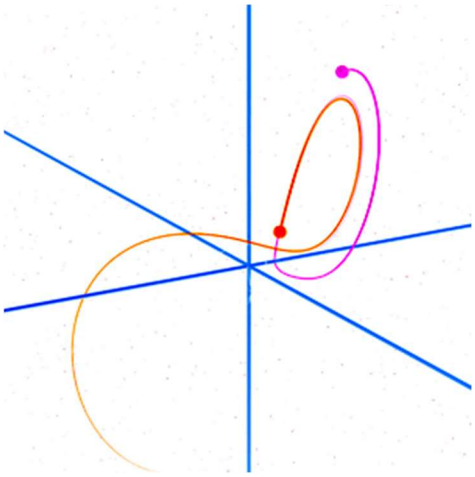


Рисунок 4 – Траектории спустя некоторое время

Тогда возникает хаос, чувствительная зависимость от начальных условий. Тем самым это явление доказывает, что в сложных системах, даже малейшее отклонение от начальных условий, приводит к совершенно другому состоянию системы в долгосрочном периоде.

Далее рассмотрим движение двух точек в модели Лоренца. Одна красная и одна синяя, которые начинают движение в разных начальных координатах. При дальнейшем наблюдении мы видим, что траектории действительно очень разные. Они кажутся абсолютно непредсказуемыми, но при длительном наблюдении можно заметить, что траектория движения начинает напоминать форму форме бабочки (рисунок 5).

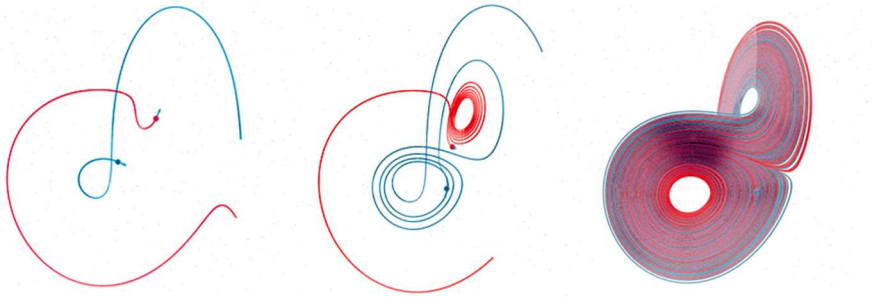


Рисунок 5 –Аттрактор Лоренца, полученный из двух точек с разными начальными координатами

Это то, что называется аттрактором Лоренца или же странным аттрактором. Причем полученная траектория не зависит от начального положения точек.

Далее, для более наглядного отображения этого аттрактора, мы использовали программу DEREK. Эта программа позволяет симулировать динамические системы в виде двумерных и трехмерных графиков. Для того, чтобы построить аттрактор Лоренца мы задали систему уравнений с определенными значениями констант (рисунок 6, 7).

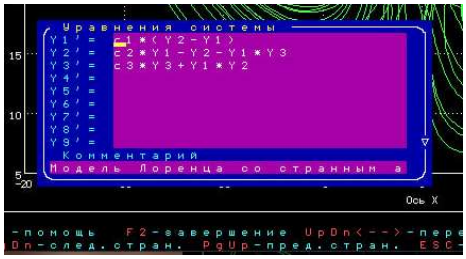


Рисунок 6 – Заданные уравнения в программе DEREK



Рисунок 7 – Значения констант в программе в программе DEREK

Таким образом прогрмма сторит упрощенный график, который, несмотря на это, очень точно отражает траектории состояний в этом странном аттракторе (рисунок 8).

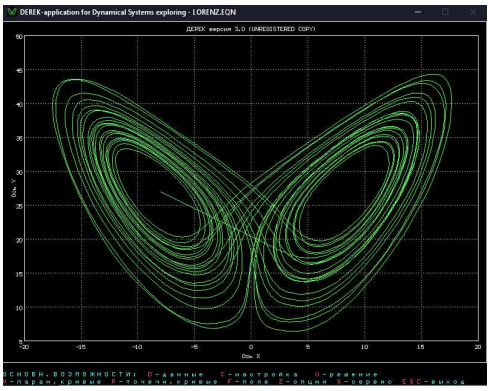


Рисунок 8 – Симуляция аттрактора Лоренца в программе DEREK

Помимо аттрактора Лоренца, есть и другие примеры странных аттракторов. Например, аттрактор Плыкина.

Аттрактор Плыкина – это классический пример гиперболического (то есть структурно устойчивого) странного аттрактора, возникающего в рамках теории динамических систем. Он определяется как максимальный аттрактор на двумерном диске, то есть такое множество, куда сходятся траектории системы, если (почти) любое начальное состояние взять из заданной области.

Главной особенностью данного аттрактора является его гиперболичность: в каждой точке множества можно разделить касательное пространство на стабильное и нестабильное подпространства, что обеспечивает экспоненциальное сжатие вдоль одних направлений и растяжение вдоль других. Такая схема динамики приводит к фрактальной структуре аттрактора и к явлениям детерминированного хаоса, где малая ошибка в начальных условиях приводит к значительной разнице в поведении системы в будущем.

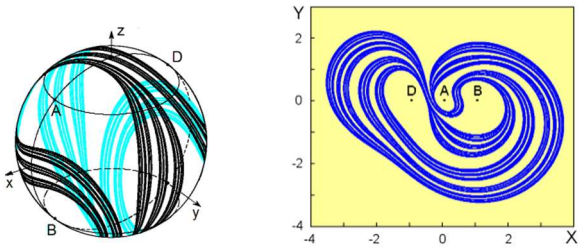


Рисунок 9 – Аттрактор Плыкина, представление на сфере и на плоскости

При подстановке параметров в систему (K=1.9, e=0.72), получаем аттрактор, представленный на рисунке в трехмерном расширенном фазовом пространстве неавтономной системы (рисунок 10). В сечении плоскостью t=const можно видеть объект, аналогичный аттрактору рассмотренного выше отображения (рисунок 9).

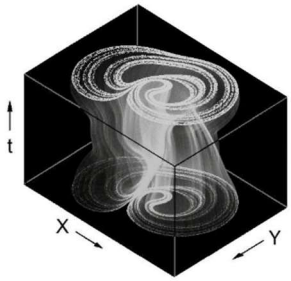


Рисунок 10 – Аттрактор Плыкина в трехмерном расширенном фазовом пространстве

Конструкция аттрактора Плыкина не только теоретически привлекательна, но и служит важным примером для изучения устойчивости хаотических динамических режимов. В отличие от некоторых других известных аттракторов, гиперболичность Плыкина гарантирует, что его структура не разрушается при малых возмущениях системы – он является образцом так называемой структурной устойчивости. Это делает его полезным не только для математических исследований, но и для прикладных задач, где требуется обеспечить надёжное сохранение качественно хаотического поведения в ходе изменения параметров системы.

Также примером странного аттрактора служит Аттрактор Смейла – Вильямса.

Аттрактор строится для отображения трехмерного пространства в себя, определенного следующей процедурой. Рассмотрим область в форме тора, растянем ее в длину, сложим вдвое и вложим в исходный тор, как показано на рисунке. При каждой следующей итерации количество «витков» удваивается. Объект, который получается в пределе большого числа итераций, называют соленоидом Смейла – Вильямса, он изображен на рисунке 11. Его поперечная структура имеет вид канторова множества (пример фрактальной структуры).

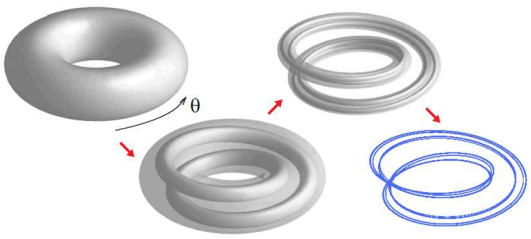


Рисунок 11 – Представление построения соленоида Смейла – Вильямса

Рисунок 12 показывает портреты аттрактора в проекции на плоскость, где по осям координат отложены обобщенная координата (напряжение) и скорость (производная по времени от напряжения) для первого осциллятора. Цветной портрет аттрактора сфотографирован непосредственно с экрана осциллографа. Второй портрет получен из решения уравнений на компьютере. Он представлен в серых тонах, где яркость изображения пропорциональна относительному времени пребывания в соответствующих точках.

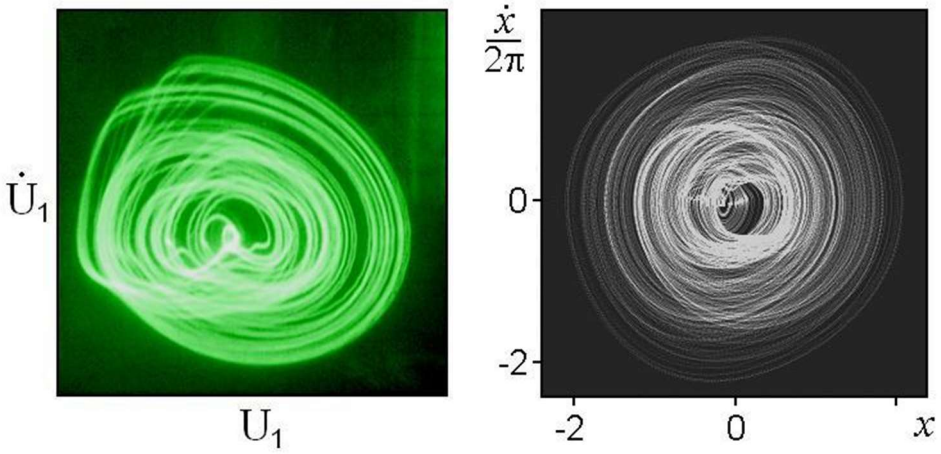


Рисунок 12 –Портреты аттрактора Смейла-Вильямса в проекции на плоскость

В ходе нашего исследования мы рассмотрели различные примеры аттракторов и их особые черты. Сначала мы изучили историю появления аттракторов. Затем мы рассмотрели понимание самого аттрактора и странного аттрактора. После этого мы рассказали про эффект бабочки и подробно рассмотрели странный аттрактор Лоренца. И в конце рассмотрели другие примеры странных аттракторов.

Оценивая вклад нашей работы в развитие высшей математики, мы можем сказать, что наше исследование расширило понимание странных аттракторов и аттракторов в целом. Мы продемонстрировали важность и интересность термина аттрактор в математике и показали это различными моделями и иллюстрациями. Наши результаты могут быть полезны для лучшего понимания понятия аттрактор, для дальнейших исследований и привлечения внимания к данной теме.

В перспективе дальнейших исследований в этой области стоит углубиться в изучение возможности использования аттракторов в физике и биологии. Также как один из путей развития можно выдвинуть поиск закономерностей в странных аттракторах с помощью искусственного интеллекта. Понимание и использование странных аттракторов имеет потенциал для развития новых математических, физических и биологических концепций и практических приложений, и дальнейшие исследования в этой области могут привести к новым открытиям и достижениям.

Список использованных источников:

1. Аттрактор Смейла – Вильямса / С.П. Кузнецов [и др.] // Саратовская группа теоретической нелинейной динамики: Динамический хаос и гиперболический аттракторы, 2013. – С.170-174 .

2. Аттрактор Плыкина – Вильямса / С.П. Кузнецов [и др.] // Саратовская группа теоретической нелинейной динамики: Динамический хаос и гиперболический аттракторы, 2013. – С.88-94 .

3. 3-D моделирование аттрактора Лоренца / А.Л. Золкин [и др.] // Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций имени проф. И.А. Бондарева, кафедра информационных управляющих систем: Моделирование аттрактора Лоренца, 2020. – С.614-617 .

4. The Solenoid / D. Ruelle // Strange Attractors, 1990. – P. 130-132.

5 Strange Attractors in nature / D. Ruelle // Strange Attractors, 1990. – P. 132-135.

СЕКЦИЯ 4
«ФИЗИКА»

УДК 621.383.4

СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ ПОМЕХ С ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТЬЮ В СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СЕНСОРАХ

Юшко Д.Е.[1], студент гр. 310201

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники[1]
г. Минск, Республика Беларусь

Дорошевич И.Л. – канд. физ.-мат. наук, доцент

Аннотация. В работе исследуется влияние температуры на качество изображения, формируемого КМОП-матрицами, с акцентом на снижение темнового тока и теплового шума при охлаждении сенсора. Показано, что уменьшение фоновых шумов улучшает соотношение сигнал/шум, что позволяет заметно снизить помехи.

Ключевые слова. Матрица, цифровой шум, помехи, качество, разрешение.

Введение. В современных цифровых фотоаппаратах используются два типа матриц: ПЗС (CCD) и КМОП (CMOS). Каждая из этих технологий имеет свои особенности, преимущества и недостатки. Принцип работы ПЗС-матриц (приборов с зарядовой связью) основан на том, что свет, попадая на фотодиоды в пикселях, преобразуется в электрический заряд, который накапливается и передается по цепочке пикселей к регистрам, где информация обрабатывается и преобразуется в цифровой сигнал. Таким образом, вся матрица последовательно передает заряд на обработку. Это обеспечивает высокое качество изображения, так как такие матрицы минимизируют шум и искажения, обеспечивают равномерность сигнала благодаря одинаковому времени экспозиции пикселей и обладают высокой чувствительностью к свету, что особенно важно при слабом освещении. Однако у ПЗС-матриц есть и недостатки: они требуют значительного количества энергии из-за сложной структуры и последовательного считывания, медленно обрабатывают данные, что снижает скорость съемки, и дороги в производстве, что делает устройства с ними менее доступными по цене.

КМОП-матрицы (комплементарные металл-оксид-полупроводниковые) используют иной подход: каждый пиксель работает независимо, имея собственный транзистор, который преобразует свет в электрический сигнал на уровне самого пикселя. Это позволяет считывать данные с каждого пикселя отдельно, что значительно ускоряет процесс. Такие матрицы потребляют меньше энергии, что делает их идеальными для мобильных устройств, таких как смартфоны и компактные камеры. Благодаря параллельной обработке данных с каждого пикселя они обеспечивают высокую скорость серийной съемки и имеют более низкую стоимость производства, что делает камеры с такими матрицами доступнее. Тем не менее, у КМОП-матриц тоже есть недостатки: они генерируют больше цифрового шума, особенно при слабом освещении, могут иметь неравномерность экспозиции из-за параллельного считывания данных и обладают меньшей чувствительностью к свету по сравнению с ПЗС-матрицами, что иногда снижает качество изображения в условиях низкой освещенности.

В итоге ПЗС матрицы имеют более высокую устойчивость к цветовому шуму и более точно определяют настоящий цвет (длину волны) света попадающего на каждый пиксель, однако в наше время уже практически не производят фотоаппаратов с использованием таких матриц. вместо этого используются более дешевые и современные КМОП матрицы со значительно более высоким разрешением, светочувствительностью и лучшей энергоэффективностью. Далее речь пойдет в основном про улучшения КМОП матрицы, однако это применимо и к ПЗС так как корень проблемы в обоих устройствах одинаков.

Для расширения возможностей фотографических устройств и независимости от внешних условий, обычно улучшают техпроцесс изготовления самих сенсоров, используют более чистые полупроводниковые материалы. Однако, это зачастую стоит больших средств. Поэтому предлагается изучить и проанализировать физические явления, происходящие в полупроводниках, для того чтобы при меньших затратах добиться повышения качества результата.

Основная часть. Есть множество факторов влияющих на чистоту получаемого изображения: алгоритмы обработки данных процессором, качество и физические размеры пикселей, плотность пикселей и др., но нас интересуют факторы, зависящие непосредственно от температуры сенсора: темновой ток, шум генерации рекомбинации, термический шум (шум Джона-Найквиста), отношение сигнал/шум (SNR).

Для понимания влияния температуры на работу светочувствительного сенсора для начала следует более подробно изучить, как работает КМОП матрица. Также как ПЗС, КМОП-матрица состоит из фотодиодов, но роль «хранителя» заряда выполняет конденсатор. Рядом с фотодиодом располагаются транзисторы. Первый в качестве электронного ключа открывающего цепь «фотодиод—конденсатор», второй для установки конденсатора в «начальное» состояние. Как правило,

«начальным» состоянием у конденсатора КМОП-матрицы будет заряженное состояние, а фотодиод будет разряжать его. Сначала конденсатор заряжается до определенного значения. Затем транзистор цепи заряда закрывается, и конденсатор начинает разряжаться через цепь фотодиода. Чем больше света попадает на фотодиод, тем больше он разряжает конденсатор. Затем измеряется оставшееся напряжение, и по полученному значению падения напряжения определяется количество света, попавшего на определенную ячейку. Время между прекращением заряда конденсатора и измерением напряжения на нем будет временем экспозиции. Напряжение и яркость света обратно пропорциональны «черному» цвету (или отсутствию света). В КМОП-матрице этому состоянию будет соответствовать полностью заряженный конденсатор, в ПЗС-матрице наоборот — незаряженная ячейка. Для считывания информации в структуру ячейки КМОП-матрицы добавляется дополнительный транзистор — усилитель, а также транзисторы выбора ячейки в составе столбца или строки. Кроме того, технология КМОП позволяет разместить на кристалле матрицы все аналого-цифровые элементы схемы, необходимые для получения полностью законченной системы на кристалле. Выходными интерфейсами матрицы могут быть цифровые интерфейсы или аналоговые. Для работы матрицы необходима лишь подача напряжения питания и кварцевый генератор [1].

Теперь стоит рассмотреть физику процессов, происходящих в полупроводниках, и то, как охлаждение меняет эти процессы.

1. Полупроводниковая структура КМОП-матрицы базируется на взаимодействии валентной зоны и зоны проводимости, разделенных запрещенной зоной. При снижении температуры энергии тепловых колебаний становится недостаточно для возбуждения электронов из валентной зоны в зону проводимости, что приводит к снижению фонового шума и улучшению соотношения сигнал/шум (SNR). Полупроводниковый материал в матрицах КМОП обладает узкой запрещенной зоной, которая определяет его чувствительность к температурным изменениям. Проводимость матрицы уменьшается с понижением температуры, поскольку меньше электронов получают достаточно энергии для преодоления запрещенной зоны и создания электронных дырок. Это физическое свойство позволяет снизить паразитные токи утечки при низких температурах, что способствует минимизации теплового шума.

2. Темновой ток — один из ключевых параметров, определяющих качество изображения, особенно в условиях длительной экспозиции [2]. Он возникает из-за движения носителей заряда, генерируемых за счет тепловой энергии, а также шумов генерации-рекомбинации. Эти процессы влияют на ток утечки, который создает "фон" на изображении и ухудшает контраст при низких уровнях освещения. При понижении температуры происходит снижение тепловой энергии, что уменьшает темновой ток. Это улучшает способность матрицы регистрировать слабые сигналы, так как уменьшается фон от тепловой генерации, не зависящей от света. Описывается это явление функцией:

$$I_{dark}(T) = I_0 exp\left(\frac{-E_A}{k_B T}\right), \quad (1)$$

где I_{dark} – темновой ток при температуре T;

I_0 – предэкспоненциальный коэффициент, зависящий от материала сенсора;

E_A – энергия активации;

k_B – постоянная Больцмана;

T – температура в кельвинах;

3. Шум Джонсона – Найквиста — это случайный шум, возникающий из-за теплового движения носителей заряда в проводящих областях [3]. Описывается формулой:

$$V_{noise} = \sqrt{4k_B T \Delta f R}, \quad (2)$$

где V_{noise} – среднеквадратичное напряжение шума;

k_B – постоянная Больцмана;

T – температура в кельвинах;

Δf – ширина полосы частот;

R – сопротивление;

При повышении температуры электроны и дырки в материале обладают большей энергией, что приводит к их более активному движению и, как следствие, к увеличению амплитуды теплового шума. Понижение температуры снижает энергию случайных тепловых колебаний, благодаря чему уровень теплового шума уменьшается, а матрица становится способной к более точному и чистому захвату слабых фотосигналов.

Понижение температуры приводит к увеличению сопротивления полупроводникового материала, что может показаться парадоксальным в отношении повышения чувствительности матрицы. Однако

основное улучшение отзывчивости связано не с абсолютным увеличением сигнала, а с уменьшением фонового шума.

С уменьшением шума улучшение соотношения сигнал/шум позволяет регистрировать слабые сигналы. На уровне квантовой механики процесс основан на уменьшении вероятности тепловой генерации пар "электрон-дырка", которые создают нежелательные шумовые заряды. Снижение температуры ограничивает количество этих пар, делая возможным более точное измерение фотона, создаваемого световым сигналом.

Теория была подтверждена на практике проведением эксперимента. Выполнена фотография в полной темноте на КМОП матрицу с разрешением 10 млн. пикселей размера 22,2×14.8 мм при выдержке 30 секунд, светочувствительности 1600 единиц ISO и температуре приблизительно 30 градусов Цельсия (рисунок 1,2).

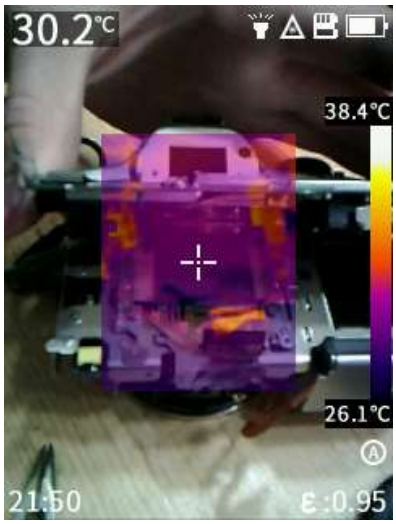


Рисунок 1 – измерение температуры матрицы тепловизором

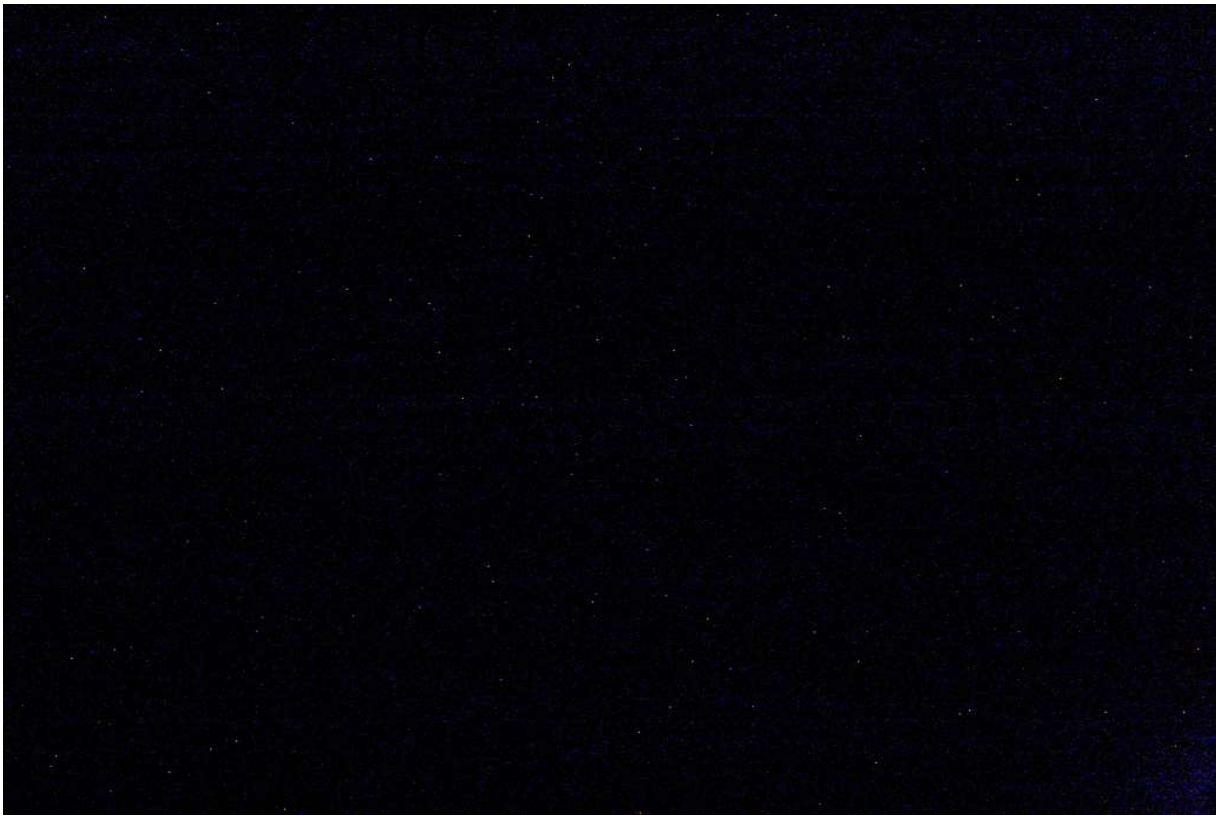


Рисунок 2 – количество шумов на фото при 30 градусах Цельсия.

После этого матрица была охлаждена до температуры около 16 градусов Цельсия (рисунок 3). Следующий снимок был сделан при тех же настройках фотоаппарата (рисунок 4).

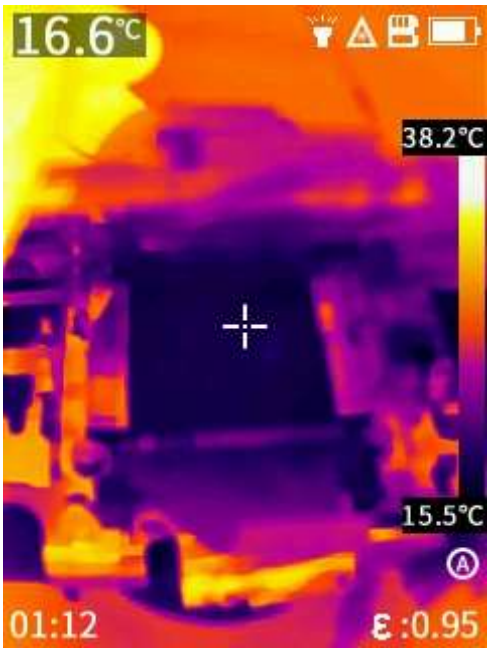


Рисунок 3 – измерение температуры охлажденной матрицы тепловизором



Рисунок 4 – количество шумов на фото при 16 градусах Цельсия

Для однозначного определения результатов эксперимента было проведено сравнение обоих снимков по соотношению площади заполнения пикселями каждого цвета к общей площади кадра при помощи калькулятора, размещенного на сайте tools366.com (рисунки 5 и 6).

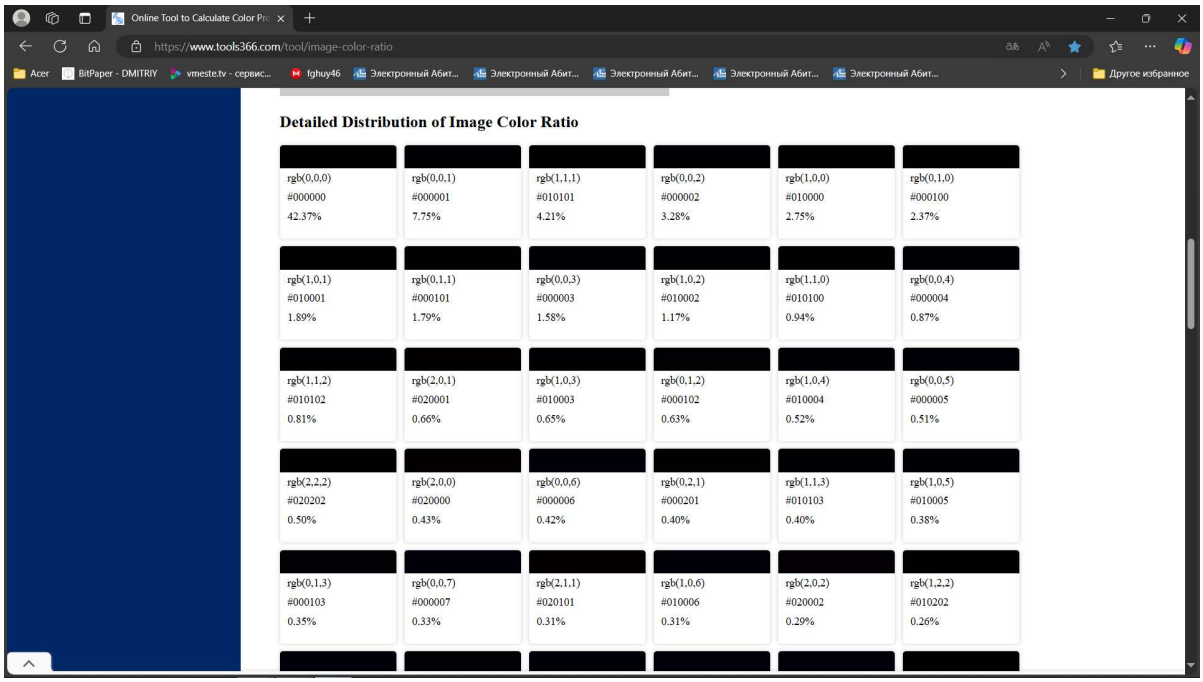


Рисунок 5 – процентное соотношение для снимка при 30 градусах Цельсия

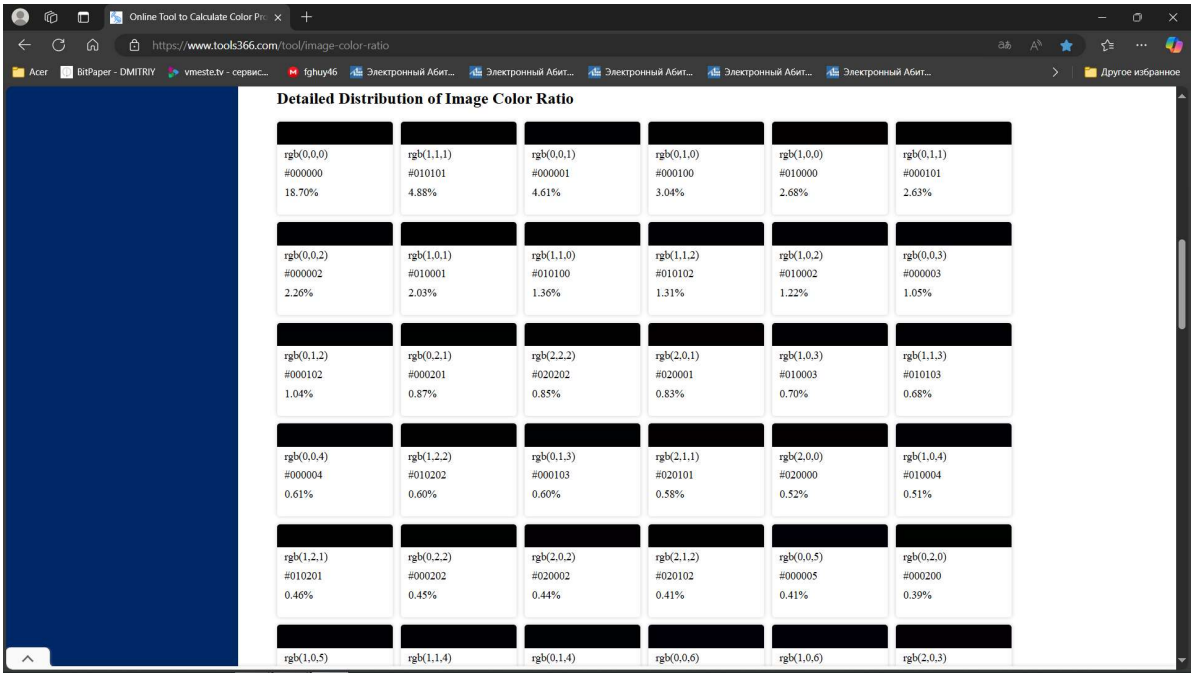


Рисунок 6 – процентное соотношение для снимка при 16 градусах Цельсия

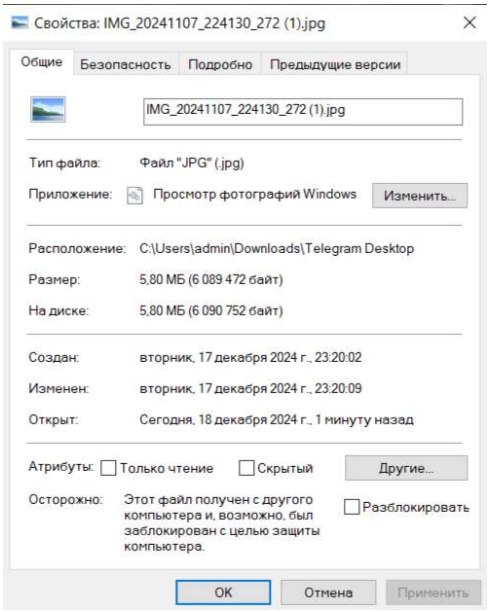


Рисунок 7 – объём первого фото 5.80 мегабайт

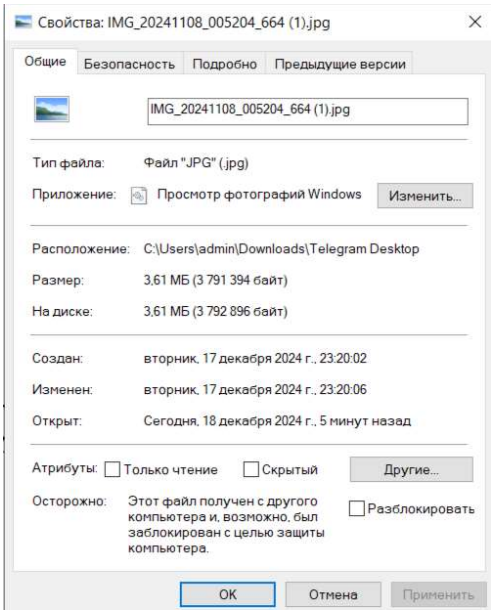


Рисунок 8 – объём второго фото 3.61 мегабайт

Из этих результатов видно, что, например, количество шумов синего цвета, он же rgb(0,0,1), на фото, сделанном при температуре 16 градусов Цельсия, уменьшилось в 1.68 раза или же на 40.5% по сравнению с фото, сделанном при температуре 30 градусов Цельсия. Кроме того уменьшился и объем файла (рисунок 7 и 8).

Заключение. Охлаждение КМОП-матриц значительно улучшает их характеристики. Уменьшение шума и темнового тока позволяет получать более качественное изображение, не содержащее помех, а следовательно занимающее меньший объём памяти на запоминающем устройстве. Это будет полезно при научных исследованиях, астрофотографии, аэрофотографии и т.п.

Список использованных источников:

1. Шевердин, А. Технологические инновации КМОП-камер OmniVision — оптимальный выбор для высокообъемных применений. Часть 1 / А. Шевердин // Компоненты и технологии. – 2008. - № 1. – С. 46 – 49.

2. Климов М. А. Приборы с зарядовой связью как средства измерений // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2001. №5. – 181 с.

3. Сотников Александр, Гилберт Барри Коэффициент шума и логарифмические усилители // Компоненты и Технологии. 2008. №87. – 30 с.

UDC 621.383.4

REDUCING TEMPERATURE-DEPENDENT NOISE IN PHOTOSENSITIVE SENSORS

Iushko D.E.[1]

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics[1]*, Minsk, Republic of Belarus*

Doroshevich I.L. – PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor

Annotation. Abstract. This study examines the impact of temperature on image quality in CMOS sensors, focusing on the reduction of dark current and thermal noise when the sensor is cooled. It demonstrates that decreasing background noise improves the signal-to-noise ratio, significantly reducing interference.

Keywords. Matrix, digital noise, interference, quality, resolution.

ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ

Ридецкий А.А. ,Мисоченко В.А. студенты гр.447401

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Андрианова Е.В. – ассистент кафедры физики

***Аннотация**:* в работе рассматривается темная материя как одна из ключевых загадок современной физики и космологии. Приведены основные аргументы в пользу её существования, основанные на гравитационных эффектах, наблюдаемых в астрофизических исследованиях. Рассматриваются модели классификации темной материи, её свойства и возможные кандидаты на роль составляющих частиц. Отдельное внимание уделяется методам детектирования темной материи, включая прямые и косвенные эксперименты, а также её влиянию на эволюцию Вселенной. Представленные материалы демонстрируют актуальность проблемы и необходимость дальнейших исследований в этой области.

В астрономии темная материя представляет собой гипотетическую форму вещества, которая не взаимодействует со светом или электромагнитными полями. Она проявляется через гравитационные эффекты, которые не могут быть объяснены общей теорией относительности без учета большего количества материи, чем мы можем наблюдать. Эти эффекты наблюдаются в процессе формирования и эволюции галактик, гравитационном линзировании,текущей структуре видимой Вселенной, распределении масс в галактических столкновениях, движении галактик внутри скоплений и космическом микроволновом фоне [1].

Согласно нынешним астрофизическим представлением, на долю обычной барионной материи (межгалактический газ, звезды и прочее) приходится менее 5%, на темную энергию ~ 68.5%, на нейтрино около 0.5%, а на темную материю, оставшиеся 26.5%. Таким образом, почти 95% массы-энергии нашей Вселенной состоит из неизвестной нам массы, изучение которой имеет фундаментальное значение для космологии, физики элементарных частиц и астрофизики[2].



Рисунок 1 – Распределение материи во вселенной

Тёмную материю можно классифицировать на три категории: холодную, тёплую и горячую. Эти категории связаны со скоростью, а не с реальной температурой, и отражают, насколько далеко объекты переместились в результате случайных движений в ранней Вселенной, прежде чем их движение замедлилось из-за космического расширения. Это ключевое расстояние называется длиной свободного перемещения (FSL).

Холодная тёмная материя (XTM) является наиболее правдоподобной моделью для объяснения космологических наблюдений. Она состоит из частиц с коротким свободным пробегом, что способствует формированию галактик. Возможные кандидаты включают WIMP, аксионы и другие гипотетические частицы. Эксперименты, такие как DAMA/LIBRA, пытались зафиксировать частицы XTM, но их результаты остаются спорными. Существуют суперсимметричные модели, предлагающие WIMP как основного кандидата, и альтернативные концепции, такие как стерильные нейтрино.

Тёплая тёмная материя состоит из частиц с FSL, сравнимым с размером протогалактики. Прогнозы, основанные на теории тёплой тёмной материи, аналогичны прогнозам для холодной тёмной материи в больших масштабах, но с меньшими мелкомасштабными возмущениями плотности. Это уменьшает прогнозируемое количество карликовых галактик и может привести к снижению плотности тёмной материи в центральных частях крупных галактик. Некоторые исследователи считают, что это лучше соответствует наблюдениям. Проблемой для этой модели является отсутствие кандидатов на роль частиц с требуемой массой от ≈ 300 эВ до 3000 эВ.

Горячая тёмная материя представлена лёгкими частицами, такими как нейтрино, с массой менее 10^{-6} от массы электрона. Эти частицы взаимодействуют через гравитацию и слабое взаимодействие, что затрудняет их обнаружение. Они не могут объяснить тёмную материю, но их роль в формировании крупных космологических структур, таких как суперскопления, остаётся предметом изучения [3].

Гипотезы о природе темной материи предполагают, что её составляют частицы, не взаимодействующие с электромагнитным излучением. Среди возможных кандидатов выделяют WIMP (слабо взаимодействующие массивные частицы), аксионы и стерильные нейтрино. WIMP остаются наиболее изученной моделью, так как они предсказываются многими теориями за пределами Стандартной модели. Однако, несмотря на многочисленные эксперименты, такие как XENON, LUX и PandaX, пока не удалось зафиксировать достоверные сигналы от частиц темной материи [1, 2].

Методы обнаружения темной материи включают прямые и косвенные эксперименты. Прямые методы основаны на фиксации взаимодействий частиц темной материи с ядрами в детекторах. Косвенные методы используют наблюдения продуктов распада или аннигиляции гипотетических частиц, таких как позитроны или гамма-лучи, в космических масштабах. Одним из ключевых экспериментов является AMS-02, установленный на Международной космической станции, который изучает космические лучи в поисках признаков аннигиляции частиц темной материи [3].

Темная материя оказывает влияние на эволюцию Вселенной. Её гравитационные эффекты играют важную роль в формировании галактик и крупномасштабных структур. Без её участия наблюдаемая Вселенная имела бы совершенно иную структуру. Компьютерные симуляции, такие как Millennium Simulation, подтверждают, что без учета темной материи невозможно объяснить современное распределение галактик [4].

Современные исследования продолжаются, включая проекты по изучению первичных гравитационных волн и экспериментальные установки нового поколения, такие как LUX-ZEPLIN и DARWIN. Эти эксперименты могут приблизить нас к разгадке природы темной материи, что приведет к пересмотру существующих фундаментальных теорий физики [5].

Список использованных источников:

1.Darkmatter [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Dark_matter

2. Курбанова А.Т. Классификация темной материи [Электронный ресурс] // Московский государственный университет. – URL: http://nuclphys.sinp.msu.ru/students/newdm.pdf

3. Dark matter [Электронныйресурс] // Ultimate Pop Culture Wiki. – URL: https://ultimatepopculture.fandom.com/wiki/Dark_'

4. Springel V. et al. Simulations of the dark universe: Millennium Simulation Project [Электронныйресурс] – URL: https://wwwmpa.mpa-garching.mpg.de/millennium/

5. Aprile E. et al. The XENON Dark Matter Search Project [Электронныйресурс] – URL: https://www.xenon1t.org/

ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ, СИНГУЛЯРНОСТИ, ИСКРИВЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ: ОКНО В НОВУЮ ФИЗИКУ

Ануфриев Ю.С., Воинов В.С. студенты гр.421701

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Чаевский В.В. – канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент кафедры физики

Аннотация. В статье представлены новые теоретические и экспериментальные результаты, позволяющие глубже понять взаимосвязь между черными дырами, искривлением времени и явлением сингулярностей. Анализируется влияние экстремальных гравитационных полей на течение времени, а также рассматриваются перспективы квантовой гравитации в решении информационного парадокса, связанного с сингулярностями.

Черные дыры представляют собой одни из наиболее экстремальных объектов во Вселенной, где гравитация так сильна, что традиционные законы классической физики утрачивают свою применимость. Современные исследования в области астрофизики и теоретической физики демонстрируют, что изучение черных дыр позволяет не только проверить предсказания общей теории относительности, но и открыть окно в новую физику, связанную с квантовыми эффектами в экстремальных условиях. Последние экспериментальные наблюдения, в том числе изображения теней сверхмассивных черных дыр, подтверждают необходимость переосмысления фундаментальных принципов описания гравитации и пространства-времени.

Черные дыры возникают в результате гравитационного коллапса массивных звезд, если масса ядра после термоядерного горения превышает критическое значение. В основе их уникальных свойств лежит несколько ключевых элементов:

• Горизонт событий – граница, за которой гравитационное поле становится настолько мощным, что ни материя, ни излучение не могут покинуть область черной дыры. При приближении к горизонту событий наблюдатели фиксируют значительное замедление времени, что подтверждается эффектами гравитационного красного смещения.

• Сингулярность. В центре черной дыры сосредоточена масса в точке с бесконечно малым объемом, что приводит к бесконечно высокой плотности и неограниченной кривизне пространства-времени. Именно в этой области классическая физика перестает работать, что требует применения новых теоретических моделей, учитывающих квантовые эффекты.

• Эргосфера для вращающих черных дыр. При наличии углового момента черная дыра окружена эргосферой – областью, где пространство закручивается под воздействием вращения, позволяя, например, реализовывать механизмы энергетического извлечения.

Искривление времени в экстремальных гравитационных полях: гравитация черных дыр оказывает колоссальное влияние на течение времени. Согласно общей теории относительности, чем сильнее гравитационное поле, тем медленнее идет время для наблюдателя, находящегося вблизи источника гравитации.

• Гравитационное замедление времени.

Наблюдатели, находящиеся далеко от черной дыры, видят, как часы, приближающиеся к горизонту событий, замедляются и «замирают». Этот эффект был подтвержден экспериментально при наблюдении за звездами, вращающимися вокруг центров галактик.

• Относительность восприятия времени.

Объект, падающий в черную дыру, в своей системе отсчета не испытывает аномалий с течением времени, однако для внешнего наблюдателя процесс выглядит кардинально искаженным. Такой дуализм позволяет использовать экстремальные гравитационные поля для тестирования пределов классической и квантовой теорий.

Одной из самых актуальных проблем современной физики является описание сингулярности и сохранение информации при испарении черных дыр.

• Излучение Хокинга и утечка информации.

Стивен Хокинг предсказал, что черные дыры излучают термическое излучение, что может приводить к их постепенному испарению. Это явление ставит под сомнение принцип сохранения информации, фундаментальный для квантовой механики.

• Голографический принцип.

Одно из предложений по разрешению информационного парадокса заключается в том, что вся информация, попавшая в черную дыру, может сохраняться на ее горизонте событий в виде двумерного голографического кода. Такой подход позволяет рассматривать трехмерное пространство-время как проекцию информации, записанной на границе области с экстремальной гравитацией.

• Перспективы квантовой гравитации.

Новые модели, основанные на принципах квантовой гравитации, стремятся объединить общую теорию относительности и квантовую механику. Экспериментальные данные, полученные с помощью гравитационно-волновых детекторов, открывают возможности для проверки гипотез о том, как информация может «выходить» из черных дыр, что может привести к созданию единой теории природы.ЯМР можно наблюдать на разных ядрах, но надо сказать, что далеко не все ядра имеют магнитный момент. Часто бывает так, что некоторые изотопы имеют магнитный момент, а другие изотопы того же самого ядра – нет. Всего существует более сотни изотопов различных химических элементов, имеющих магнитные ядра, однако в исследованиях обычно используется не более 1520 магнитных ядер, всё остальное – экзотика. Для каждого ядра есть свое характерное соотношение магнитного поля и частоты прецессии, называемое гиромагнитным отношением. Для всех ядер эти отношения известны. По ним можно подобрать частоту, на которой при данном магнитном поле будет наблюдаться сигнал от нужных исследователю ядер.

Черные дыры продолжают оставаться объектом пристального внимания ученых, так как они позволяют исследовать фундаментальные законы физики в условиях, где классическая теория уже не действует. Экстремальное искривление времени и загадочные свойства сингулярностей открывают новые горизонты в понимании взаимодействия гравитации и квантовых эффектов. Новые экспериментальные методы и теоретические модели приближают нас к решению информационного парадокса и созданию единой теории, объединяющей квантовую механику и общую теорию относительности. Полученные результаты могут оказать существенное влияние на развитие современной физики и дать толчок появлению принципиально новых представлений о структуре Вселенной.

Список использованных источников:

1. Физика черных дыр / Фролов, В.П.; Новиков, И.Д. - Москва: Физматлит, 1993..
2. Теоретическая физика. Теория поля / Ландау, Л.Д.; Лифшиц, Е.М. - Москва: Наука, 1975.
3. Краткая история времени / Хокинг, Стивен - Перевод на русский язык, Москва: АСТ, 2008.
4. Гравитация / Миснер, Чарльз; Торн, Кип; Уилер, Джон - Русский перевод, Москва: Мир, 1976.

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КВАДРУПОЛЬНЫХ СИСТЕМ

Грабовский А.К.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

Редьков В.М. – доктор физико-математических наук, профессор

Методами компьютерного моделирования исследовано влияние геометрической конфигурации квадрупольных систем и стохастических возмущений на распределение потенциала и динамику заряженных частиц.

Анализ мультипольных моментов играет важную роль при описании электростатических конфигураций в области дальнего поля. В данной работе исследуются различные конфигурации четырёх точечных зарядов. Методология основана на классических подходах, изложенных в [1].

Рассмотрим простой симметричный пример квадрупольной системы, состоящей из четырёх точечных зарядов, расположенных в вершинах квадрата со стороной *a* на плоскости *(y, z):* два заряда *+q* в точках $(\frac{a}{2},\frac{a}{2})$ и $(-\frac{a}{2},-\frac{a}{2})$, два заряда *-q* в точках $(\frac{a}{2},-\frac{a}{2})$ и $(-\frac{a}{2},-\frac{a}{2})$.

Точное выражение для потенциала в точке наблюдения M(x,y,z) задаётся равенством

$$\phi(M)=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_{1+}+\frac{1}{r_{2+}-\frac{1}{r_{1-}-\frac{1}{r_{2-}}}}}\right) \quad (1).$$

Учитывая две первые поправки в разложении Тейлора $\frac{1}{r}\approx\frac{1}{d}+\frac{r_0 a}{d^3}+\frac{(r_0 a)^2-a^2}{2d^5}$, получаем в области дальнего поля приближенное выражение

$$\phi(M)\approx\frac{3qa^2}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{yz}{d^5}\left(1+O\left(\frac{a^2}{d^2}\right)\right) \quad (2),$$

где $d=\sqrt{x^2+y^2+z^2}$ – это расстояние от центра квадруполя до точки наблюдения.

Чтобы исследовать детали пространственного распределения потенциала будем использовать сферические координаты (d,θ,φ):

$$x=dsin\theta cos\varphi \quad (3);$$
$$y=dsin\theta sin\varphi \quad (4);$$
$$z=dcos\theta \quad (5),$$

тогда потенциал принимает вид

$$\phi\approx\frac{3qa^2}{4\pi\varepsilon_0 d^3}sin\theta^2 sin\varphi cos\varphi \quad (6).$$

Условия экстремумов для функции потенциала задаются уравнениями

$$\frac{\partial\phi}{\partial\theta}=\frac{3qa^2}{2\pi\varepsilon_0 d^3}sin\theta cos\theta sin\varphi cos\varphi=0 \quad (7);$$
$$\frac{\partial\phi}{\partial\varphi}=\frac{3qa^2}{4\pi\varepsilon_0 d^3}sin\theta^2(cos\varphi^2-sin\varphi^2)=0 \quad (8).$$

Выделяем условия максимумов и минимумов:

$$\theta=\frac{\pi}{2},\varphi=\frac{\pi}{4},\phi_{max}=\frac{3qa^2}{8\pi\varepsilon_0 d^3} \quad (9);$$

$$\theta = \frac{\pi}{2}, \varphi = \frac{3\pi}{4}, \phi_{min} = -\frac{3qa^2}{8\pi\varepsilon_0 d^3} \quad (10)$$

.

Эту задачу легко можно смоделировать, используя библиотеки NumPy и Matplotlib для Python (рис 1). Тогда убеждаемся, что максимум и минимум расположены по направлениям диагоналей квадрата, образующего квадрупольную систему. Это является проявлением симметрии квадрупольной системы.

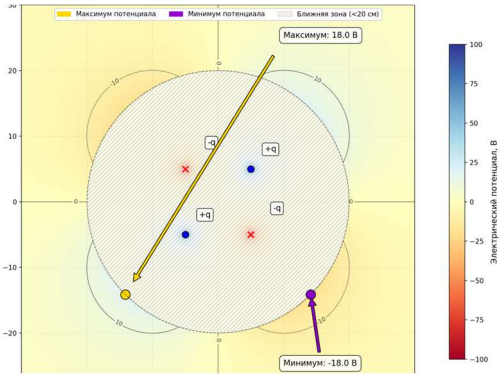


Рисунок 1 – Модель распределения потенциала в дальнем поле квадратичной квадрупольной системы

Далее, исследуем различные конфигурации системы. Поменяем местами один положительный и один отрицательный заряд в исходной конфигурации. Расчёты, подтверждённые моделированием, демонстрируют, что в таком случае полностью исчезает вклад квадрупольного момента в потенциал в дальней точке наблюдения. Для данной конфигурации, потенциал в точке M определяется значением дипольного момента.

Рассмотрим другой пример, расположим заряды в вершинах ромба с острым углом в 60°: два заряда *+q* в точках $(\frac{3a}{4}, \frac{\sqrt{3}a}{4})$ и $(-\frac{3a}{4}, -\frac{\sqrt{3}a}{4})$, два заряда *-q* в точках $(\frac{a}{4}, -\frac{\sqrt{3}a}{4})$ и $(-\frac{a}{4}, \frac{\sqrt{3}a}{4})$ (рис.2).

Для данной ромбической конфигурации зарядов, равно как и для любой другой аналогичной ромбической конфигурации данных зарядов, можно показать, что дипольный момент обращается в нуль. Это обусловлено симметрией расположения зарядов. Данный факт подтверждается аналитически на основе формулы $\vec{p} = \sum q_i \vec{r}_i$ и средствами компьютерного моделирования — в расчётах вклад дипольного момента в потенциал в точке наблюдения оказался равен нулю с точностью до 10^{-16}.

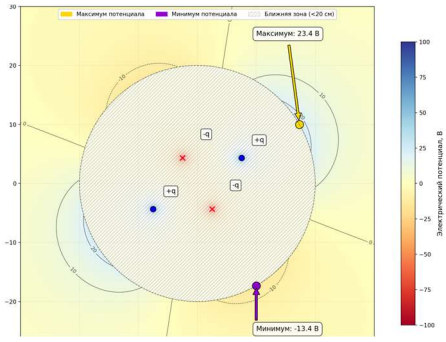


Рисунок 2 – Модель распределения потенциала в дальнем поле ромбической квадрупольной системы

Проведённый анализ показал, что геометрическая конфигурация квадрупольной системы существенно влияет на пространственное распределение электростатического потенциала. Для симметричной квадратной конфигурации наблюдается характерная квадрупольная картина с максимумами вдоль диагоналей. Аналогичные закономерности выполняются для ромбических структур.

Список использованных источников:

1. Jackson, J.~D. Classical Electrodynamics / J.~D.~Jackson. — 3rd ed. — New York: Wiley, 1999. — 808 p.

ИННОВАЦИИ В ОБЛАСТИ КВАНТОВЫХ ПРОЦЕССОРОВ

Жуковский Г. Н., Кузьмицкий М. И., студенты группы 468402

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Храмович Е.М. – канд. физ.-мат. наук, доцент

В работе рассматриваются инновации в области квантовых процессоров, будущие области применения квантовых компьютеров и их будущее развитие.

В эпоху стремительного технологического прогресса квантовые процессоры являются одним из наиболее революционных направлений, обещающее переопределить границы вычислительных возможностей и расширить наши познания о мире. В отличие от классических компьютеров, опирающихся на биты, квантовые процессоры используют кубиты, способные существовать в суперпозиции состояний и запутываться между собой. Это позволяет им решать задачи, недоступные даже самым мощным суперкомпьютерам: от моделирования сложных молекулярных структур до оптимизации глобальных логистических систем и взлома современных криптографических алгоритмов. Благодаря этим качествам квантового компьютера важно знать новейшие инновации, которые могут привести к прорыву в сфере квантовых вычислений.

8 августа 2022 года группа японских учёных под руководством профессора Кёдзи Омори создала самый быстрый двухкубитный логический вентиль в мире (логические вентили — основа любого процессора). На одну логическую операцию он тратит 6.5 наносекунд [1]. Обычный же квантовый логический вентиль тратит ~150 микросекунд на одну операцию. Такое быстродействие исключает возникновение ошибок из-за внешних шумов, так как они просто не успевают воздействовать на кубиты.

19 февраля 2025 года компания Microsoft анонсировала создание процессора «Majorana 1», который использует совершенно новую технологию производства квантовых процессоров [2]. Для производства используют майорана-кубиты, основанные на майорановских фермионах, которые устойчивы к шумам внешней среды, что позволяет свести количество ошибок к минимуму, и топороводник — совершенно инновационный материал, который позволяет создавать и контроллировать майорана-кубиты.

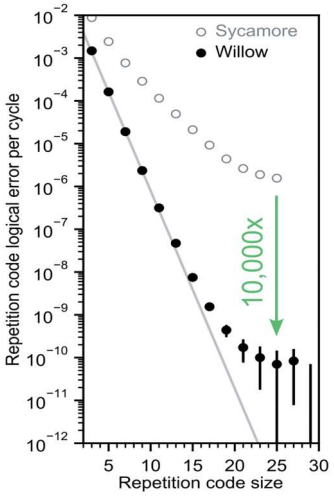


Рисунок 1 — Соотношение количества ошибок с размером корректирующего кода

9 декабря 2024 компания Google создала Willow – чип, в котором количество ошибок уменьшается с ростом количества кубитов [3], благодаря кодам, которые они называют «Repetition codes». На рисунке 1 Google сравнивают свой новейший процессор Willow (черные кружки) с процессором предыдущего поколения Sycamore (серые кружки). Как видно на данном рисунке в процессоре Willow ошибок стало в 10000 раз меньше по сравнению с предыдущим поколением, но Google нашли лимит длины корректирующего кода, при котором количество ошибок не уменьшается, и даже наоборот, может увеличиваться.

15 июня 2023 года Intel предоставили свой экспериментальный чип «Tunnel Falls» различным университетам и лабораториям, которые занимаются различными исследованиями в

области квантовых вычислений. В Intel утверждают, что кубиты, основанные на «спинах» превосходят любые иные типы кубитов, так как их размеры сопоставимы с размерами транзисторов в современных компьютерах, что упрощает расширение количества кубитов не изменяя размера чипа [4].

Области применения квантового вычисления безграничны. Например моделирование материалов. Квантовый компьютер сможет смоделировать материал, который, к примеру имеет свойство самовосстановления и сделает это в несколько тысяч раз быстрее чем суперкомпьютер. Пока что реализован алгоритм VQE в котором, квантовый компьютер работает в связке с классическим. Правда, удалось его реализовать только для небольших молекул, по типу молекулы водорода или гидрита лития.

С помощью квантовых компьютеров кибербезопасность радикально изменится. Системы безопасности которые существуют сейчас станут бессильны перед скоростью вычислений квантового компьютера. Взлом RSA-ключа, состоящего из 1024 бит, займет миллионы лет непрерывных вычислений на классических компьютерах, тогда как на квантовом компьютере эта задача будет решена за ~10 часов. Но благодаря квантовым компьютерам также станет возможным создать абсолютно новые системы безопасности и генерации ключей, которые будут защищены от «квантовых» атак. Примеры систем, теоретически защищенных от таких атак это QKD и Post-Quantum Cryptography.

Машинное обучение упростится с появлением промышленных квантовых компьютеров. За один слой нейросети будет отвечать всего одна схема VQC, что упростит обучение нейросетей. Схема VQC берет один параметр и с помощью манипуляций с кубитом выдает уже преобразованное значение. Пример использования подобной схемы это алгоритм VQE, который используют в моделировании материалов.

Развитие в области квантовых коммуникаций позволит данным быть защищёнными физически с помощью того, что каналы для передачи сигнала будут отправлять единичные фотоны, а не пучки. Что сделает невозможным перехват сигнала. Благодаря свойству кубита изменять своё состояние в зависимости от того измеряют их или нет, обнаружить нарушителя будет очень легко.

Исследования в области квантовых коммуникаций уже применяются на практике или проходят полевые испытания например в Сбербанке или Huawei [5].

Также квантовые компьютеры смогут помочь с моделированием свёртывания белков в медицине и биофизике, а также в изучении физики фундаментальных частиц.

Некоторые компании уже применяли квантовые компьютеры для того, чтобы показать на что они способны. Например компания Google совместно с NASA и USRA использовал свой 53-кубитный квантовый компьютер Sycamore для моделирования химической реакции гидрогена с нитрогеназой – ферментом, который участвует в фиксации азота в почве [6]. Также Microsoft совместно с Case Western Reserve University использовал свою платформу Azure Quantum для обработки медицинских изображений с помощью квантового машинного обучения [6].

Будущее развитие квантовых компьютеров уже предопределено. Большинство компаний будут стремиться к увеличению количества кубитов, параллельно уменьшая количество ошибок в операциях, и созданию рабочих квантовых компьютеров, способных на решение ресурсоёмких задач, для решения которых самым мощным суперкомпьютерам на данный момент потребовалось бы слишком большое количество времени. Например IBM стремится к 2029 году сделать полностью рабочий квантовый компьютер с 200 кубитами, а к 2033 году – квантовый компьютер с 1000 кубитов.

Google приблизительных дат не указывают, но в этом году хотят создать кубит, который может выполнить свыше 1000000 операций без единой ошибки.

Microsoft не предлагают никаких дат, следующая цель у них повысить «качество» своих кубитов, перед тем как создать мультикубитную систему. Их финальная цель это создание квантового суперкомпьютера, который будет выполнять от 1 миллиона «надежных» квантовых операций в секунду (rQops/sec) до ста миллионов. «reliable quantum operations per second» [7] – это метрика, созданная Microsoft для оценки общей производительности квантового компьютера, а не его кубитов. Самая схожая метрика производительности для классических компьютеров – FLOPS (floating point operations per second).

Исходя из вышеперечисленного можно смело заявить, что развитие квантовых вычислений приведет к настоящему прорыву в разных сферах жизни, начиная от новых материалов и медикаментов, заканчивая прорывом в области межзвездных путешествий, физики элементарных частиц. Также, благодаря квантовым вычислениям мы сможем создать (или по крайней мере симулировать) человеческое сознание, что в свою очередь выведет искусственный интеллект на новый уровень. Но, к сожалению, до того момента как квантовые компьютеры смогут решать подобные задачи пройдёт ещё не одно десятилетие. На пути к таким мощным компьютерам инженерам и учёным предстоит решить много проблем, например такие как изоляция кубитов от шумов внешней среды, чтобы не возникало большого количества ошибок и неустойчивость самих кубитов. Это проблемы которые мы знаем, но на нашем пути к квантовому превосходству над классическими компьютерами могут возникнуть ещё проблемы, которых мы не предполагаем.

Список использованных источников:

1. Breakthrough for the realization of ultrafast quantum computers: the world's fastest 2-Qubit gate between two single atoms [Элетронный ресурс]. Режим доступа: https://www.ims.ac.jp/en/news/2022/08/0809.html. Дата доступа: 04.04.2025.

2. Microsoft unveils Majorana 1, the world's first quantum processor powered by topological qubits [Электронный ресурс]. Режим доступа: Microsoft https://azure.microsoft.com/en-us/blog/quantum/2025/02/19/microsoft-unveils-majorana-1-the-worlds-first-quantum-processor-powered-by-topological-qubits/. Дата доступа 05.04.2025

3. Meet Willow, our state-of-the-art quantum chip [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://blog.google/technology/research/google-willow-quantum-chip/. Дата доступа: 05.04.2025.

4. Intel's New Chip to Advance Silicon Spin Qubit Research for Quantum Computing [Электронный ресурс].Режим доступа: https://newsroom.intel.com/new-technologies/quantum-computing-chip-to-advance-research. Дата доступа: 05.04.2025

5. 6G and Quantum Communication [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://forum.huawei.com/enterprise/intl/en/thread/6G-and-Quantum-Communication/721484695826481152?blogId=721484695826481152. Дата доступа: 08.04.2025.

6. Квантовые компьютеры для всех: уже здесь и сейчас или грядущее науки? [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://habr.com/ru/articles/895268/. Дата доступа: 08.04.2025.

7. Explore quantum: Reliable Quantum Operations Per Second [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://quantum.microsoft.com/en-us/insights/education/concepts/rQOPS. Дата доступа: 08.04.2025.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КАПЕЛЬНОЙ ЛИНЗЫ

В. В. Василевский Е. А. Павлов

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Редьков В.М. – доктор физико-математических наук, профессор БГУИР

Проведено экспериментальное исследование линзы, образованной каплей воды на стеклянной поверхно- сти. Определен коэффициент увеличения и разрешающей способности оптической системы, созданной с использованием капельной линзы.

В рамках настоящего исследования ставится задача всестороннего анализа оптических характеристик капельной линзы: от определения зависимости увеличения от объёма капли до оценки разрешающей способности системы при использовании лазерного излучения. Для дости- жения поставленной цели были выполнены следующие этапы: теоретическое обоснование принципов работы капельной линзы; разработка экспериментальной установки с возможностью точного измерения коэффициента увеличения; проведение серии опытов по определению влияния геометрическихпараметровкаплинаоптические свойства; анализ экспериментальных данных с целью выявления корреляций между объемом капли и качеством получаемого изображения. Исследование опирается на принятые методики в области оптики, а также на результаты ранее опубликованных работ [1] [2] .

Экспериментальная установка включала камеру, выступающую в роли экрана, и миллиметровую бумагу, на которой фиксировался тестовый объект. В процессе эксперимента капля воды размещалась на стеклянной подложке, где её форма и кривизна постепенно изменялись,что влияло на оптическую силу системы. Было установлено, что при уменьшении объёма капли наблюдается увеличение оптического увеличения, так как изменяется радиус кривизны поверхности, отвечающий за фокусировку световых лучей. В то же время наблюдалась обратная зависимость между объёмом капли и коэффициентом увеличения – малейшие изменения в объёме влекут за собой существенные колебания параметров изображения (см. рис. 1).



Рис. 1 – Схема экспериментальной установки для измерения увеличения капельной линзы.

Детальное сравнение экспериментальных результатов с теоретическими расчетами позволило оценить погрешности измерений, обусловленные динамическим изменением формы капли и влиянием аберраций оптической системы. Полученные данные демонстрируют высокую чувствительность капельной линзы к изменениям объёма, что имеет решающее значение при проектировании устройств, где критична точность оптического увеличения.

Для определения разрешающей способности капельной линзы был проведён отдельный эксперимент, в котором использовался лазер с длиной волны(ед. исчисления - нм) λ= 650. Измерения проводились с целью определения минимального размера детали, которую система способна различить. При этом изображение тестового объекта фиксировалось с помощью камеры, что позволяло проанализировать степень детализации и оценить способность капельной линзы передавать тонкие структурные особенности.

Формула, определяющая разрешающую способность оптической системы, записывается следующим образом:

$$\alpha = \frac{1.22\lambda}{D},$$

где λ – длина волны излучения, а D – эффективный диаметр капельной линзы. Проведённый эксперимент показал, что разрешающая способность составляет порядка 2.6μ м, что подтверждает высокую эффективность системы даже при использовании простых оптических элементов (см. рис. 2).

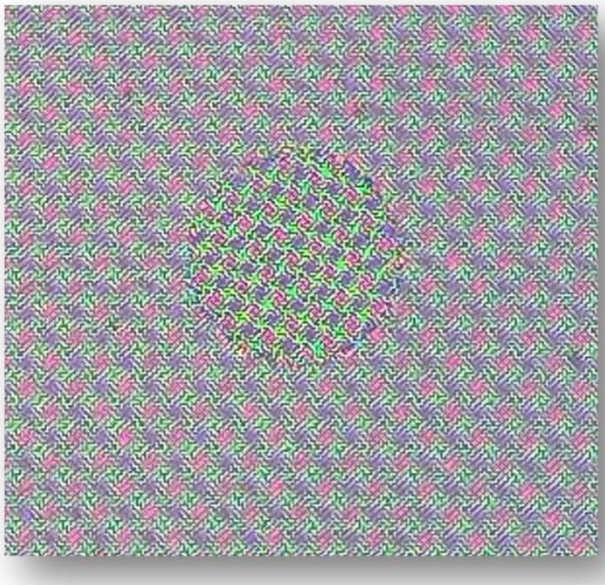


Рис. 2 – Изображение тестового объекта с использованием капельной линзы, демонстрирующее высокую разрешающую способность.

Анализ полученных данных позволяет заключить, что капельная линза демонстрирует не только значительное увеличение изображения, но и высокую способность различать мелкие детали. Эти свойства особенно ценны при разработке компактных оптических приборов,где традиционные линзы не всегда могут обеспечить требуемое качество изображения. В ходе проведённого исследования были получены следующие основные результаты:

- Экспериментальные данные подтвердили, что коэффициент увеличения капельной линзы обратно пропорционален её объёму. При уменьшении объёма капли наблюдается значительное увеличение изображения.
- Измеренная разрешающая способность системы составляет около 2.6μ м, что свидетельствует о высокой эффективности капельной линзы при передаче деталей тестового объекта.
- Динамические изменения формы капли и оптические аберрации являются основными источниками погрешностей, однако их влияние можно минимизировать при правильном подборе экспериментальных условий.
- Полученные результаты открывают перспективы применения капельной линзы в разработке портативных микроскопов, оптических сенсоров и других устройств.

Таким образом, исследование подтверждает, что простая система, основанная на капле воды, способна обеспечить существенное увеличение и высокую разрешающую способность, что делает её привлекательной для использования в ряде практических приложений.

Список использованных источников:

1. Planinsic, G. Проектор на основе капель воды // Phys. Teach. — 2001. — Т.39, с. 18–21.
2. Walker, J. Капля воды становится воротами в мир оптики катастроф // Sci. Am. — 1989. — Т.261, с. 120D–123.

СПИНТРОНИКА И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СВЕТА С МАГНИТНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Шеверденко А.В., Лагун В.С., Шабунько О.В.[1], группа 443201

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники[1], г. Минск, Республика Беларусь

Горячун Н.В. – старший преподаватель кафедры физики

Аннотация. Было исследовано, что спинтроника является наиболее перспективной платформой для создания элементной базы систем обработки и хранения информации следующего поколения. Устройства спинтроники реализовывают больше записи данных, обладают более высокой скоростью обработки информации и пониженным энергопотреблением.

Ключевые слова: спин, спинтроника, электрон, спин-поляризованный ток, ферромагнетик

Введение. Спинтроника представляет собой одно из наиболее быстро развивающихся направлений науки и техники, которое в настоящее время рассматривается как наиболее перспективная технология дальнейшего развития элементной базы информационных технологий. Спинтроника включает в себя физические эффекты, обусловленные спинами отдельных электронов и спин-поляризованными токами, протекающими в тонких магнитных и полупроводниковых пленках и гетероструктурах, и устройствах обработки информации на их основе. В «Физической энциклопедии» спин определяется как собственный момент количества движения элементарных частиц, имеющий квантовую природу и не связанный с перемещением частицы как целого.

Основная часть. Согласно существующим в современной физике представлениям, поведение элементарной частицы электрон описывается законами квантовой механики, однако для качественных оценок его можно рассматривать как классическую частицу и использовать законы классической нерелятивистской механики. Кроме того, находящийся в связанном состоянии в атоме электрон обладает также механическим и магнитным моментами, обусловленными его вращением вокруг ядра атома.

В многоэлектронных атомах собственные магнитные моменты электронов складываются с их орбитальными моментами и формируют магнитный момент атома как целого. В твердых телах, состоящих из таких атомов, обменное взаимодействие между электронами приводит к упорядочению и появлению спонтанной намагниченности вещества в отсутствие внешнего магнитного поля. В зависимости от характера взаимодействия магнитное упорядочение носит ферромагнитный или антиферромагнитный характер. В таких магнитоупорядоченных образцах при приложении постоянных или переменных магнитных полей наблюдаются различные явления, которые можно использовать для создания устройств записи и обработки информации. В последние годы интерес к спин-волновой электронике опять значительно повысился в связи с достижениями в генерации и детектировании спиновых волн в металлических пленках (пермаллой) субмикронной и нанометровой толщин, стоимость изготовления которых значительно ниже, чем эпитаксиальных гранатовых пленок. Спиновые волны в металлических пленках имеют чисто обменную природу, длина волны составляет доли единицы микрон, а расстояние распространения достигает единиц-сотен мкм. Частоту, длину волны и скорость обменных СВ можно перестраивать примерно в тех же пределах, как и дипольных СВ, путем изменения внешнего управляющего магнитного поля. Это открывает возможности создания новых управляемых спин-волновых СВЧ приборов микронных размеров. Поскольку электрон обладает как зарядом, так и собственным спином, и собственным магнитным моментом, то электрический ток переносит не только заряд, но и спин (т.е. магнитный момент). В большинстве материалов (металлы, полупроводники и т.д.) в электрическом токе количество электронов, магнитный момент которых направлен в определенном направлении (по магнитному полю), равно количеству электронов, момент которых направлен в противоположном направлении. В результате суммарный "спиновый ток", т.е. результирующий перенос магнитного момента электронами, равен практически нулю.

Одной из основных задач спинтроники является разработка методов создания спинового тока и методов детектирования спинового тока. Основной способ получения спин-поляризованного тока состоит в пропускании электрического тока через ферромагнетик, помещенный в магнитное поле (может использоваться внутреннее поле анизотропного магнитное ферромагнетика) с последующей инжекцией этого тока в обычный металл или полупроводник через границу раздела (рисунок 1).

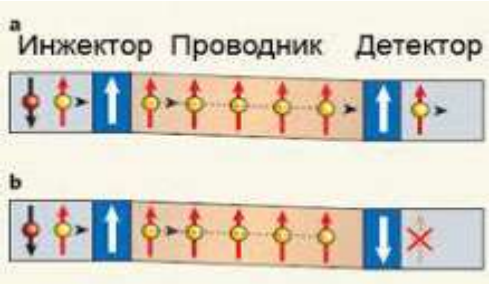


Рисунок 1 – Схематическое изображение спин-поляризованного тока в проводнике

Большое внимание в настоящее время уделяется поиску новых материалов, обеспечивающих эффективную генерацию спин-поляризованных токов при комнатных температурах и совместимых с хорошо разработанными технологиями современной электроники. Помимо базовых материалов спинтроники – ферромагнитных металлов Fe, Co и Ni, перспективными считаются слаболегированные ферромагнитные полупроводники, полуметаллические ферромагнитные оксиды, сплавы Гейслера и некоторые органические материалы.

Существует несколько подходов к управлению спиновыми токами и эффектами, используемыми в спинтронике. Основным является управление спин-поляризованными токами с помощью магнитного поля, ориентацию и величину которого можно легко изменять с помощью внешних источников, например, пропуская обычный ток через проводники. Амплитуда управляющих магнитных полей должна составлять от долей мТл до единиц Тл. Такие поля достаточно легко реализовать в небольшой области пространства либо непосредственно с помощью токов, либо используя ферромагнетики.

Второй способ – управление спиновыми токами с помощью мультиферроидных материалов, которые обладают одновременно как магнитными, так и сегнетоэлектрическими свойствами, таких как феррит висмута BiFeO3. При приложении к такому материалу электрического поля изменяются его магнитные параметры: намагниченность насыщения, ориентация вектора намагниченности, поле магнитной анизотропии и другие.

Заключение. Спинтроника является наиболее перспективной платформой для создания элементной базы систем обработки и хранения информации следующего поколения. Устройства спинтроники позволяют реализовать более высокую плотность записи данных, будут обладать более высокой скоростью обработки информации, пониженным энергопотреблением, более высокой радиационной стойкостью, чем существующие электронные устройства на основе полупроводников. На сегодняшний день созданы действующие прототипы таких устройств спинтроники как высокочувствительные датчики магнитных полей, энергонезависимые элементы магнитной памяти с произвольным доступом, спин-полевые диоды и транзисторы, управляемые наногенераторы СВЧ-излучения и т.д. Разрабатываются новые принципы обработки информации на основе спинтронных технологий.

Список использованных источников:

1. *Вольф С.А. и др. Spintronics: A Spin-Based Electronics Vision for the Future // Science. — 2001. — Vol. 294, № 5546.*
2. *Борисов П.Г. Спинтроника: основы и перспективы. — СПб.: Лань, 2018.*

SPINTRONICS AND THE INTERACTION OF LIGHT WITH MAGNETIC MATERIALS

Sheverdenko A.V., Lagun V.S., Shabunko O.V.[1]

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics[1], Minsk, Republic of Belarus

Goryachun N.V. – senior lecturer at the department of physics

Annotation. It has been investigated that spintronics is the most promising platform for creating the element base of next-generation information processing and storage systems. Spintronics devices realize more data recording, have higher information processing speed and lower power consumption.

Keywords: spin, spintronics, electron, spin-polarized current, ferromagnet

КВАНТОВЫЙ ТУННЕЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ В ЗВЕЗДНОМ НУКЛЕОСИНТЕЗЕ

Сиз Р.В., Шейко Д.В., студенты гр.418302

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Чаевский В.В. - кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики

Аннотация. Данная работа посвящена изучению влияния квантового туннельного эффекта в ядерном синтезе в звёздах. Рассматриваются способы, благодаря которым квантовое туннелирование помогает атомным ядрам преодолевать кулоновский барьер, и его влияние на скорость термоядерных реакций, например, протон-протонной цепочки и CNO-цикла. Цель исследования–оценить вклад квантового туннелирования в процессы образования химических элементов, что критически важно для понимания общей динамики звёзд и эволюции Вселенной.

Звёздный нуклеосинтез, процесс образования химических элементов в недрах звёзд посредством термоядерных реакций, является фундаментальным для понимания эволюции Вселенной и происхождения элементов тяжелее водорода и гелия. Протекание этих реакций в звёздных ядрах, характеризующихся высокими температурами и плотностями, сталкивается с необходимостью преодоления кулоновского барьера. Для преодоления этого барьера требуются температуры миллиарды Кельвин по сравнению с наблюдаемыми в ядрах звезд (около 15 миллионов Кельвин в центре Солнца). Столь высокие температуры в звездах главной последовательности не достигаются. Несмотря на то, что кинетическая энергия ядер в звёздных ядрах обычно недостаточна для классического преодоления этого барьера, ядерные реакции синтеза происходят благодаря квантовому туннельному эффекту [1].

Квантовое туннелирование представляет собой квантовомеханическое явление, при котором частица имеет ненулевую вероятность пройти через потенциальный барьер, даже если ее энергия меньше высоты барьера. В контексте звёздного нуклеосинтеза, это означает, что атомные ядра могут сблизиться на расстояния, необходимые для действия сильного ядерного взаимодействия, ответственного за слияние ядер, даже при энергиях, недостаточных для преодоления кулоновского отталкивания согласно классической физике [2]. Без квантового туннелирования, звезды не могли бы поддерживать термоядерные реакции при наблюдаемых температурах, как, например, в случае протон-протонного цикла в Солнце, где туннелирование позволяет протонам преодолевать кулоновский барьер [3]. Вероятность туннелирования экспоненциально зависит от высоты и ширины барьера, а также от массы и энергии туннелирующей частицы. Именно сочетание высоких температур (дающих некоторым ядрам достаточную энергию для заметной вероятности туннелирования в области пика Гамова) и чрезвычайно высокой плотности вещества в звездных недрах (обеспечивающей огромное число столкновений ядер в единицу времени) делает суммарную скорость термоядерных реакций достаточной для энерговыделения звезд и поддержания их светимости.

В звёздных ядрах происходят различные термоядерные реакции, приводящие к синтезу широкого спектра элементов. Одной из важнейших является протон-протонная (pp) цепочка, доминирующая в звёздах с массой, сравнимой с Солнцем. Первый, наиболее медленный этап этой реакции включает слияние двух протонов с образованием дейтерия, позитрона и нейтрино. Вероятность этого процесса критически зависит от квантового туннелирования, позволяющего протонам преодолеть кулоновский барьер. В более массивных звездах значительную роль играет CNO-цикл (углеродно-азотно-кислородный цикл), в котором углерод, азот и кислород выступают в качестве катализаторов превращения водорода в гелий. И в этом цикле квантовое туннелирование необходимо для слияния протонов с ядрами катализаторов. Точно так же, туннелирование играет важнейшую роль и в дальнейших этапах горения в более крупных звездах, например, в синтезе углерода из гелия (тройная альфа-реакция) и в процессах горения более тяжелых элементов.

Вероятность туннелирования количественно описывается так называемым фактором Гамова, названным в честь Георгия Гамова, который одним из первых применил квантовую механику для объяснения как альфа-распада, так и возможности термоядерных реакций при звездных температурах, который определяет вероятность сближения двух ядер на расстояние действия сильного ядерного взаимодействия. Фактор Гамова учитывает заряды взаимодействующих ядер и их относительную энергию, которая зависит от температуры. Именно эта вероятность преодоления кулоновского барьера за счёт туннельного эффекта определяет скорость большинства термоядерных реакций в звёздах [1, 4]. Концепция пика Гамова определяет энергетический диапазон, в котором вероятность ядерного синтеза максимальна, представляя собой результат компромисса между экспоненциально падающим числом частиц с высокой энергией (согласно распределению Максвелла-Больцмана) и экспоненциально растущей вероятностью туннелирования с увеличением энергии (описываемой

фактором Гамова). Именно в этом узком энергетическом окне происходит основная часть реакций синтеза.

Влияние квантового туннелирования на скорость ядерных реакций в звёздах является определяющим. Более высокая вероятность туннелирования приводит к экспоненциальному увеличению скорости реакций синтеза. Эта скорость чрезвычайно чувствительна к температуре в ядре звезды, что во многом определяет структуру и эволюцию звезды, а также ее способность к саморегуляции. Это обеспечивает энерговыделение, необходимое для поддержания гидростатического равновесия звезды. Скорость протон-протонной реакции, лимитирующая туннелированием, определяет продолжительность жизни звёзд главной последовательности. Таким образом, квантовое туннелирование является фундаментальным процессом, лежащим в основе звездного нуклеосинтеза и, как следствие, существования звёзд и формирования химического разнообразия во Вселенной и, в конечном счете, появления элементов, из которых состоит наша планета и мы сами.

Список использованных источников:

1. Астронет > 6.2 Особенности ядерных реакций в звездах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.astronet.ru/db/msg/1170612/6lec/node3.html. – Дата доступа: 01.04.2025.

2. The Role of Quantum Effects in Nuclear Fusion | by Boris (Bruce) Kriger | GLOBAL SCIENCE NEWS | Medium [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://medium.com/global-science-news/the-role-of-quantum-effects-in-nuclear-fusion-376dad65258e. – Дата доступа: 01.04.2025.

3. Квантовое туннелирование, телепортация, квантовый интернет. Фантастика или реальность? // Habr [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://habr.com/ru/articles/764018/. – Дата доступа: 02.04.2025.

4. Постнов К.А. Лекции по общей астрофизике. 2-е изд., испр. и доп. М.: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2011. 288 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://xray.sai.msu.ru/astrores/books/zasov_av_postnov_ka_obshchaia_astrofizika.pdf. – Дата доступа: 02.04.2025.

УДК 530.145

КВАНТОВАЯ ТЕЛЕПОРТАЦИЯ: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРИНЦИПЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ

Дубов Н.А., Каленик С.А.[1], студенты гр. 443201

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники[1], г. Минск, Республика Беларусь

Горячун Н. В. – старший преподаватель кафедры физики

Аннотация. Рассматривается одно из ключевых направлений квантовой физики — квантовая телепортация. Описаны её фундаментальные принципы, основанные на явлениях квантовой суперпозиции и квантовой запутанности. Проанализированы перспективы практического применения квантовой телепортации в таких областях, как квантовая криптография, квантовые вычисления и построение квантовых сетей. Работа направлена на формирование целостного представления о потенциале квантовой телепортации в современных и будущих технологиях.

Ключевые слова: Квантовая механика, квантовая телепортация, квантовая запутанность, суперпозиция, частицы, кубит, состояние Белла.

Квантовая телепортация – это процесс передачи квантового состояния от одной частицы к другой без физического перемещения материальной частицы. В основе метода лежат уникальные свойства квантовой механики, такие как суперпозиция и квантовая запутанность. Эти фундаментальные принципы позволяют не только передавать информацию с высокой степенью защиты, но и закладывают основу для создания распределённых квантовых вычислительных систем и глобальных квантовых сетей.

Одно из ключевых понятий, на котором основана квантовая телепортация, является квантовая запутанность - явление, при котором две или более квантовых систем становятся связаны таким образом, что изменение состояния одной из них мгновенно влияет на состояние другой, независимо от расстояния между ними. Квантовая запутанность неразрывно связана с фундаментальными свойствами квантовой механики и парадоксом Эйнштейна — Подольского — Розена, в котором она была впервые описана.

Суть парадокса в том, что он противоречит соотношению неопределенностей Гейзенберга. Согласно этому соотношению, нет возможности одновременно точно измерить координату частицы и её импульс. Предполагая, что причиной неопределённости является то, что измерение одной величины вносит принципиально неустранимые возмущения в состояние и производит искажение значения другой величины, можно предложить гипотетический способ, которым соотношение неопределённостей можно обойти.

Допустим, две одинаковые частицы A и B образовались в результате распада третьей частицы C. В этом случае, по закону сохранения импульса, их суммарный импульс $p_A + p_B$ должен быть равен исходному импульсу третьей частицыp_C то есть импульсы двух частиц должны быть связаны. Это даёт возможность измерить импульс одной частицы (A) и по закону сохранения импульса

$$p_B = p_C - p_A, \quad (1)$$

рассчитать импульс второй (B), не внося в её движение никаких возмущений. Теперь, измерив координату второй частицы, можно получить для этой частицы значения двух неизмеримых одновременно величин, что по законам квантовой механики невозможно. Исходя из этого, можно было бы заключить, что соотношение неопределённостей не является абсолютным, а законы квантовой механики являются неполными и должны быть в будущем уточнены.

Если же законы квантовой механики в данном случае не нарушаются, то измерение импульса одной частицы равносильно измерению импульса второй частицы. Однако это создаёт впечатление мгновенного воздействия первой частицы на вторую, превышая при этом скорость света, в противоречии с принципом причинности.

Квантовая телепортация и суперпозиция являются двумя ключевыми концепциями в квантовой механике, которые играют важную роль в понимании того, как происходит передача квантового состояния. Суперпозиция - это принцип, согласно которому квантовая система может находиться в нескольких состояниях одновременно. Например, кубит, который является основным элементом квантовых вычислений, может быть в состоянии |0⟩, |1⟩ или в их суперпозиции, записываемой как:

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta \vee 1\rangle, \quad (2)$$

где α и β – комплексные числа, определяющие вероятность нахождения системы в каждом из состояний.

При измерении эта суперпозиция "коллапсирует" в одно из базовых состояний, что делает процесс передачи информации неповторимым и защищённым. Суперпозиция обеспечивает возможность существования квантовых состояний в нескольких формах одновременно, что является критически важным для успешной реализации квантовой телепортации.

Квантовая телепортация непосредственно использует состояния Белла. Состояния Белла представляют собой особый набор из четырёх квантовых состояний, описывающих систему из двух кубитов, находящихся в максимальной степени запутанности. В каждом из этих состояний два кубита не обладают определёнными индивидуальными состояниями до момента измерения. Вместо этого, система описывается общей волновой функцией, отражающей их неразрывную связь. Измерение одного из кубитов мгновенно определяет состояние другого, независимо от расстояния между ними, о чем было рассказано ранее. Это явление демонстрирует принцип суперпозиции, согласно которому квантовая система может находиться в комбинации нескольких состояний одновременно.

Квантовый канал — это механизм связи, который используется для передачи всей квантовой информации и является каналом, используемым для телепортации. Однако в дополнение к квантовому каналу для «сохранения» квантовой информации необходимо использовать традиционный канал, сопровождающий кубит. Когда проводится измерение изменений между исходным кубитом и запутанной частицей, результат измерения должен быть передан по традиционному каналу, чтобы квантовая информация могла быть восстановлена, а получатель мог получить исходную информацию. Из-за необходимости использования традиционного канала скорость телепортации не может превышать скорость света (следовательно, теорема о невозможности коммуникации не нарушается).

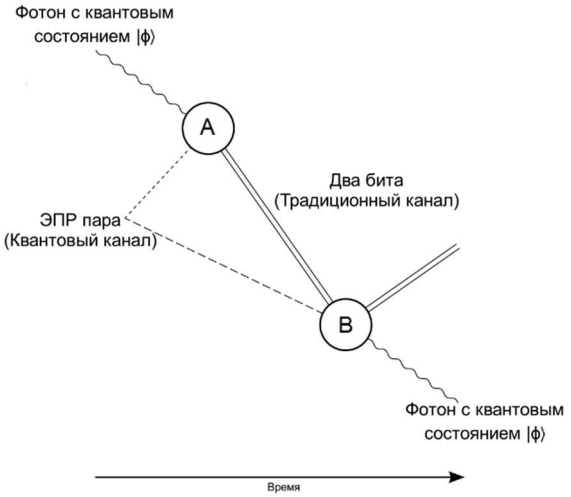


Рисунок 10 - Схема квантовой телепортации фотона

Для проведения квантовой телепортации необходимы такие ресурсы: канал связи, способный передавать два классических бита, средства генерации запутанного состояния Белла из кубитов и распределения по двум разным местоположениям, при этом выполняя измерения Белла на одном из кубитов с состоянием Белла и манипулируя квантовым состоянием другого кубита из пары. Также должен быть входной кубит (в квантовом состоянии $|\phi\rangle$), который необходимо телепортировать. В этом случае протокол следующий:

1. Генерируется состояние Белла, когда один кубит отправляется в местоположение A, а другой - в местоположение B.

2. Измеряется состояния кубита Белла и кубита, подлежащего телепортации ($|\phi\rangle$), в местоположении A. Это приводит к одному из четырех результатов измерения, которые могут быть закодированы в двух классических битах информации. Оба кубита в местоположении A затем отбрасываются.

3. Используя классический канал, два бита передаются из A в B.

4. В результате измерения, проведенного в точке A, кубит состояния Белла в точке B находится в одном из четырех возможных состояний. Из этих четырех возможных состояний одно идентично исходному квантовому состоянию $|\phi\rangle$, а три других тесно связаны. Идентификация фактически полученного состояния кодируется в двух классических битах и отправляется в местоположение B. Кубит состояния Белла в местоположении B затем модифицируется одним из трех способов или не модифицируется вообще, что приводит к созданию кубита, идентичного $|\phi\rangle$, состоянию кубита, который был выбран для телепортации.

Стоит отметить, что вышеупомянутый протокол предполагает, что кубиты могут быть адресованы индивидуально, что означает, что кубиты различимы и физически помечены. Однако могут возникнуть ситуации, когда два идентичных кубита неразличимы из-за пространственного перекрытия их волновых функций. При этом условии кубиты не могут управляться или измеряться по отдельности. Тем не менее, протокол телепортации, аналогичный описанному выше, все еще может быть (условно) реализован путем использования двух независимо подготовленных кубитов без необходимости в начальном состоянии Белла. Это можно сделать, обратившись к внутренним степеням свободы кубитов (например, спинам или поляризации) с помощью пространственно-локализованных измерений, выполненных в разделенных областях A и B, где можно найти два пространственно перекрывающихся, неразличимых кубита. Затем это теоретическое предсказание было подтверждено экспериментально с помощью поляризованных фотонов в квантово-оптической установке.

Квантовая телепортация открывает множество перспектив для различных областей науки и технологий. Например, она позволяет передавать квантовые состояния, которые могут использоваться для генерации криптографических ключей. Некоторые протоколы основаны на использовании запутанных частиц для обмена ключами. Любая попытка перехвата приведет к изменению состояния, что сразу фиксируется отправителем и получателем, обеспечивая таким образом высокий уровень безопасности. Это распространяется также и на квантовый интернет - квантовая телепортация является ключевым элементом в построении квантового интернета, где информация может передаваться мгновенно и безопасно между различными узлами сети. Эксперименты по квантовой телепортации на сотни километров, а также спутниковые демонстрации показывают, что данная технология может быть также интегрирована в современные телекоммуникационные сети.

Квантовая телепортация позволит объединять ресурсы отдельных квантовых устройств, создавая распределённые квантовые вычислительные сети. Это может значительно ускорить решение сложных задач в разных научных областях.

Методы сверхплотного кодирования и интеграция квантовой телепортации в существующие телекоммуникационные сети могут привести к значительному увеличению пропускной способности каналов связи. Это особенно важно для передачи больших объёмов данных и в условиях ограниченных вычислительных ресурсов.

Несмотря на значительные достижения, квантовая телепортация сталкивается с рядом технических и фундаментальных проблем. Например, квантовые состояния крайне чувствительны к внешним воздействиям, что может привести к потере запутанности и информации. Также необходимо повысить точность и дальность передачи квантовых состояний, особенно в условиях реальных коммуникационных сетей.

Квантовая телепортация обладает огромным потенциалом для революционных изменений в области защищённой связи, распределённых вычислений и создания глобальных квантовых сетей. Ее применение в квантовой криптографии обеспечивает высокий уровень безопасности, а использование методов обмена запутанностью и сверхплотного кодирования открывает новые горизонты для квантовых коммуникаций. Кроме того, интеграция с современными радиочастотными технологиями позволяет расширить сферу применения данной технологии и создать основы для будущего квантового интернета.

Список использованных источников:

1. Телепортация: прыжок в невозможное / Дэвид Дарлинг. — Москва: Эксмо, 2008. — 300 с. — (Открытия, которые потрясли мир). — 3100 экз. — ISBN 978-5-699-23980-1.

2. Блохинцев Д. И. Основы квантовой механики. — М.-Л. : ГИТТЛ, 1949.

3. Кумар М. Квантовая реальность (глава 13) // Квант: Эйнштейн, Бор и великий спор о природе реальности. — М.: АСТ Corpus, 2015. — 592 с. — (Элементы). — ISBN 978-5-17-088555-8.

4. Кайе Ф., Лафламм Р., Моска М. Введение в квантовые вычисления. — Ижевск: РХД, 2009. — 360 с.

5. Квантовая криптография. Идеи и практика / Под ред. С. Я. Килина, Д. Б. Хорошко, А. П. Низовцева. — Минск: Белорусская наука, 2007. — ISBN 978-985-08-0899-8.

6. Riebe, M; Chwalla, M; Benhelm, J; Häffner, H; Hänsel, W; Roos, C F; Blatt, R (4 July 2007). "Quantum teleportation with atoms: quantum process tomography". New Journal of Physics. 9 (7): 211.

UDC 530.145

QUANTUM TELEPORTATION: FUNDAMENTAL PRINCIPLES AND APPLICATION PROSPECTS

Dubov N.A., Kalenik S.A.[1]

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics[1], Minsk, Republic of Belarus

Goryachun N.V. – senior lecturer, department of physics

Annotation. One of the key directions of quantum physics is considered — quantum teleportation. Its fundamental principles based on the phenomena of quantum superposition and quantum entanglement are described. The prospects of practical application of quantum teleportation in such fields as quantum cryptography, quantum computing and the construction of quantum networks are analyzed. The work is aimed at forming a holistic view of the potential of quantum teleportation in modern and future technologies.

Keywords. Quantum mechanics, quantum teleportation, quantum entanglement, superposition, particles, qubit, Bell state.

УДК 535.8:620.3

ПРИНЦИП РАБОТЫ ОПТИЧЕСКОГО ПИНЦЕТА

Артюшкевич Г.Д., Бердова Э.А.[1], группа 443201

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники[1], г. Минск, Республика Беларусь

Горячун Н.В. – старший преподаватель кафедры физики

Аннотация. Оптический пинцет — оптический прибор для манипулирования микро- и наноразмерными объектами (микрочастицами, биологическими клетками, макромолекулами и др.) путём воздействия на них лазерным излучением. В основе принципа работы оптического пинцета лежит передача импульса и момента импульса от световой волны к среде. Для создания необходимой интенсивности света используют сфокусированные лазерные пучки.

Ключевые слова: оптический пинцет, лазер, частица, световой пучок, нанотехнологии.

Введение. Механическое устройство для управления микроскопическими объектами создать невозможно, так как приходится иметь дело с частицами микронных размеров или хромосомами в живой клетке, к которым нельзя прикасаться, иначе они разрушатся. Использовать обычный, даже сверхминиатюрный пинцет в таком случае невозможно. А захватить и переместить микрообъект – насущная задача современной микро- и нанотехнологии. Но достаточные для этого усилия способны создавать лазерные лучи

Принцип действия оптического пинцета основан на том, что световой поток обладает импульсом и при изменении его направления возникает сила, связанная с этим изменением (рисунок 1):

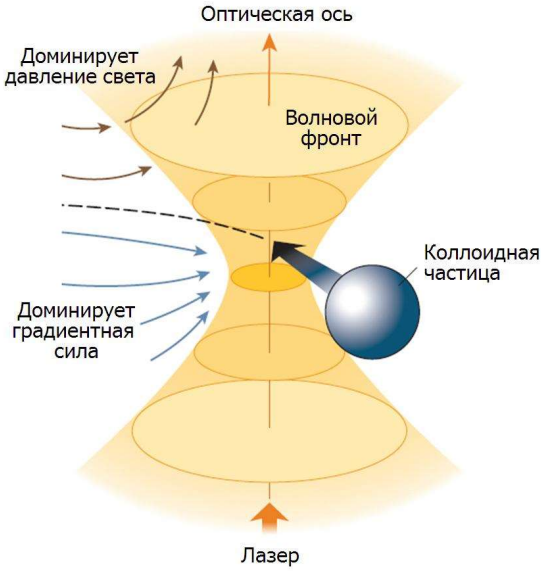


Рисунок 1 – Схема оптического пинцета

Основная часть. Силы, приводящие микроскопические частицы в движение, зависят от различных параметров – светового пучка, частицы и её окружения. Эти силы делят на: градиентные и рассеивающие. Градиентные силы возникают за счёт неоднородности распределения интенсивности светового пучка в поперечном сечении. Именно благодаря этим силам осуществляется захват частиц в световом пучке. Силы второго типа обусловлены отражением и рассеиванием света, они приводят к движению частицы вдоль направления распространения светового пучка вследствие давления света.

При описании действия светового пучка на частицу с характерным размером, во много раз превышающим длину волны света, используют приближение геометрической оптики. В этом приближении световой пучок рассматривается как бесконечный набор лучей, каждый из которых преломляется на границе прозрачного объекта.

Фотон характеризуется энергией E и импульсом p, который равен: $p = mc$ (m – масса движущегося фотона, c – скорость света). Если фотон падает на непрозрачную (поглощающую или отражающую) поверхность, то сообщаемый ей импульс есть давление света на эту поверхность. Но если осветить лазером прозрачную частицу, то световой пучок испытает на ней преломление - направление вектора скорости света и, следовательно, направление импульса фотонов изменится. Пользуясь механической

аналогией, можно сказать, что при этом возникает изменение силы, которое подействует на частицу так, что она двинется в сторону наибольшей интенсивности лазерного пучка.

Интенсивность лазерного пучка максимальна на его оси и плавно спадает к краям. Закон изменения интенсивности соответствует гауссовскому распределению. Поэтому частица удерживается на оси пучка, а при фокусировке пучка линзой она "втягивается" в точку фокуса и оказывается "пойманной" в трех измерениях. Чтобы создать силы, способные осуществить такую "трехмерную ловушку", требуется излучение мощностью порядка нескольких милливатт.

Перемещением фокуса можно передвигать частицы, выстраивая из них самые разнообразные конструкции. Луч лазера при движении воздействует на пространство и материализует требуемый объект.

Объединяя метод оптического пинцета с использованием других лазерных пучков, исследователи могут, например, захватить отдельную хромосому и разрезать на кусочки для дальнейшего анализа. Для захвата можно применить инфракрасное излучение с длиной волны λ=1,064 мкм и его гармонику - зеленый свет (λ=0,532 мкм) - для разрезания: биологические объекты почти прозрачны в инфракрасной области, но сильно поглощают зеленый свет.

Оптический пинцет представляет собой удобный инструмент, имеющий ряд недостатков.

Во-первых, чем сильнее стянут пучок в фокус, тем быстрее он расходится после него. Это означает, что сила, удерживающая частицу, очень быстро падает по мере удаления от зоны захвата, и уже на расстоянии несколько десятков микрон от фокуса оказывается недостаточной, чтобы снова захватить частицу. Однопучковая ловушка полезна лишь для захвата одиночной частицы и только в области фокуса.

Во-вторых, лазерный пучок после встречи с объектом будет отличаться от исходного из-за дифракции, преломления, отражения и поглощения. Это также ограничивает расстояние, на котором он может действовать как оптический пинцет.

Существует и еще одно обстоятельство, связанное с расходимостью самого лазерного пучка. Чем сильнее он расходится, тем хуже его фокусирует оптическая система, но получить идеально параллельный пучок принципиально невозможно из-за дифракции. И долгое время не было даже мысли о том, что можно как-то обойти это ограничение. Но существует класс световых пучков, фактически свободных от дифракции. Их проекция на экран выглядит как яркое пятно, окруженное системой концентрических колец (такое распределение интенсивности описывает функция Бесселя, и поэтому сами пучки называют бесселевыми).

Обычный гауссов пучок превращают в бесселев при помощи так называемого аксикона - конической линзы, которая фокусирует параллельный пучок лучей не в точку, а в отрезок прямой линии на оптической оси. Этот центральный луч подобен нерасходящемуся "световому шнуру" постоянной интенсивности.

Бесселеву пучку присуще одно свойство: в отличие от гауссова пучка, который искажается после прохождения через частицу, он обладает способностью самостоятельно восстанавливаться. Часть волн, выходящих из конической поверхности аксикона, проходят мимо препятствия и сходятся позади него; их интерференция образует неискаженный пучок. Это позволяет преодолеть ограничение, присущее оптическому пинцету на гауссовом пучке, способному захватить лишь частицы, расположенные очень близко одна к другой. В недавних работах было показано, что оптический пинцет, использующий бесселев пучок, способен захватывать частицы, разнесенные на расстояние 3 миллиметра и лежащие в отдельных независимых ячейках. В этих экспериментах использовалось лазерное излучение с длиной волны 1,064 мкм, образующее бесселев пучок с ярким центральным пятном, окруженным 19-ю кольцами. Общая мощность излучения составляла 700 мВт, из которой на центральное пятно приходилось примерно 35 мВт. Захватывалась полая сфера диаметром около 5 микрон между центральным пятном и первым кольцом пучка. Сфера искажала пучок, который за ней восстанавливался и работал как оптический пинцет, сводящий вместе три кварцевые сферы диаметром 5 микрон. После этого пучок восстанавливался еще раз.

Другое отличие оптических пинцетов на бесселевом пучке заключается в их способности захватывать сразу несколько разных частиц. Например, в экспериментах производился одновременный захват сплошной кварцевой сферы в первой ячейке, полой сферы во второй и частицы из двупреломляющего материала в третьей. Полая сфера имеет меньший показатель преломления, чем вода, заполняющая ячейки, и поэтому выталкивается из областей высокой интенсивности света. Ее захват происходил в темных зонах бесселева пучка между кольцами.

С помощью оптических пинцетов измеряли механические свойства молекул ДНК, прицепляя к их концам полистирольные бусинки и растягивая их (рисунок 2):

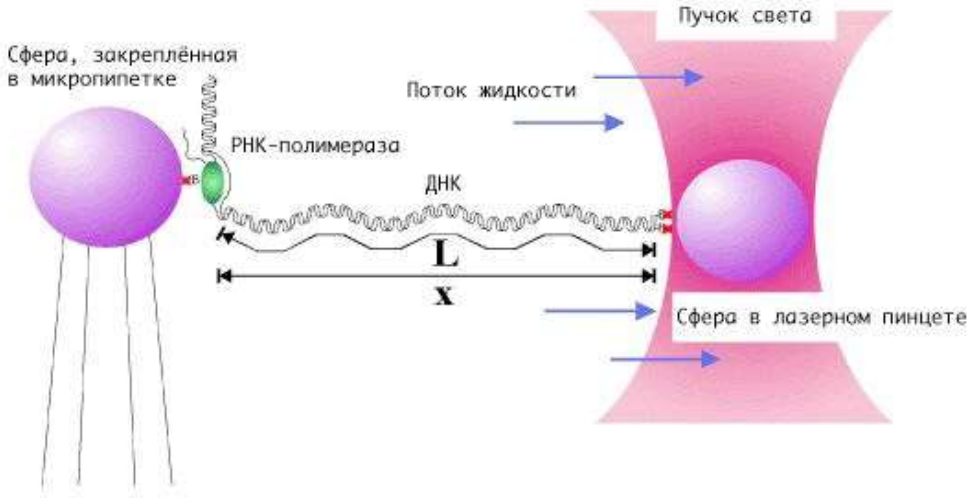


Рисунок 2 – Измерение механических свойств ДНК при помощи оптического пинцета

Исследователи из Гарвардского университета укладывали эритроциты на белковое основание в кольца, цепочки и тетраэдры, создавая модели клеточных "датчиков", настроенных на обнаружение определенных химических веществ. Оптический пинцет уже сейчас используют для пересадки генов в клетки, а также при искусственном оплодотворении в пробирке.

Весьма интересные эксперименты выполнены в венгерском Биологическом исследовательском центре. Там разработана методика получения микроскопических объектов произвольной формы в результате полимеризации клейкой массы под действием света. Оптический пинцет на основе инфракрасного (λ = 0,994 мкм) полупроводникового лазера захватывал и удерживал в фокусе микрочастицы. Далее использовалась так называемая двухфотонная методика: клей освещали ультрафиолетовым лазером, генерирующим две слегка различающиеся длины волны вблизи 0,340 мкм, а необходимая для полимеризации интенсивность достигалась фокусировкой в нужной точке излучения аргонового лазера (λ = 0,514 мкм). В результате воздействия света образовывался твердый полимер. Высокоточный трехкоординатный пьезоэлектрический манипулятор, управляемый компьютером, перемещал материал относительно фокуса, создавая микроскопические детали - роторы, шестеренки, пропеллеры.

Было обнаружено, что при сдвиге точки фокуса свет, отклоняясь от частицы, приводит ее во вращение. Величина и направление момента вращения зависят от ориентации ротора или шестеренки в фокусе. Если ротор оснащался центральной осью, устойчивость его захвата в пинцете повышалась, а при увеличении числа зубцов шестеренки вращение становилось более равномерным. При мощности излучения 20 мВт конструкция равномерно вращалась с частотой до нескольких оборотов в секунду. Отсюда - один шаг до создания действующих микромашин, управляемых светом. Авторы сконструировали две сцепленные шестеренки, сидящие на фиксированных осях, и свободно плавающий ротор. Ротор захватывали лазерным пинцетом, приводили во вращение и затем подводили к паре шестеренок, заставляя их крутиться.

Заключение. Изобретение оптического пинцета совершило подлинную революцию в микротехнике. С помощью таких. приборов стало возможным измерить силу, развиваемую одиночными молекулами молекулярных моторов, таких, как миозин и кинезин, а также элементарные шаги, которые делают эти молекулы при двигательном акте. Благодаря способности манипулировать субмикроскопическими объектами вплоть до атомов и измерять пиконьютонные силы и нанометровые перемещения, оптический пинцет рассматривается как один из важнейших инструментов для нанотехнологий.

Возможность измерять силы, действующие на частицы, с помощью оптических ловушек сделала эти инструменты по-настоящему мультифункциональными. Лазерные пинцеты используются для изучения компонентов клеток, например, белков и молекулярных моторов.

Список использованных источников:

1. Оптический пинцет [Электронный ресурс]. − Режим доступа: https://www.nkj.ru/archive/articles/2965/. – Дата доступа: 11.06.2024.

2. Оптические пинцеты [Электронный ресурс]. − Режим доступа: https://inscience.ru/library/article_post/opticheskiye-pintsety. – Дата доступа: 09.09.2019.

3. Оптический пинцет [Электронный ресурс]. − Режим доступа: https://thesaurus.rusnano.com/wiki/article1445. – Дата доступа: 29.01.2023.

4.Как работает оптический пинцет [Электронный ресурс]. − Режим доступа: https://fiz.1sept.ru/article.php?ID=200801304. – Дата доступа: 13.12.2024.

UDC 535.8:620.3

OPERATING CONCEPT OF OPTICAL TWEEZERS

Artsiushkevich H.D., Berdova E.A.[1]

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics,[1]
Minsk, Republic of Belarus

Goryachun N.V. – senior lecturer of the department of physics

Annotation. Optical tweezers are optical devices for manipulating micro- and nano-sized objects (microparticles, biological cells, macromolecules, etc.) by exposing them to laser radiation. The operating concept of optical tweezers is based on the transfer of momentum and angular momentum from a light wave to a medium. Focused laser beams are used to create the required light intensity.

Keywords: Optical tweezers, laser, particle, light beam, nanotechnology.

УДК 535.3;621.315.592

ГЕНЕРАЦИЯ ТГЦ ИЗЛУЧЕНИЯ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУРАХ, ОБЛУЧАЕМЫХ ФЕМТОСЕКУНДНЫМИ ЛАЗЕРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ

Иванович В.Д. магистрант гр.446801
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь
Малевич В.Л. – доктор физ.-мат. наук

Аннотация. В настоящей статье дается краткий обзор основных механизмов генерации терагерцового электромагнитного излучения в полупроводниковых структурах, возбуждаемых фемтосекундными оптическими импульсами фемтосекундной длительности. Рассматриваются механизмы формирования импульсов фототока в фотопроводящих антеннах, p-i-n диодах и в приповерхностных областях полупроводника под действием оптического лазерного излучения. Обсуждается также механизм ТГц генерации, основанный на эффекте нелинейного оптического выпрямления в полупроводниковых кристаллах.

Ключевые слова. терагерцовое излучение, p-i-n структура, фотопроводящая антенна, фотоэффект -Дембера, фемтосекундный лазер.

Терагерцовое (ТГц) излучение занимает диапазон частот от 0,1 до 10 ТГц и обладает уникальными свойствами, которые делают его перспективным для приложений в области спектроскопии, биомедицины, систем безопасности и диагностики материалов. Одним из эффективных методов генерации ТГц излучения является использование полупроводниковых структур, облучаемых фемтосекундными лазерными импульсами [1, 2].

Генерация ТГц излучения в полупроводниковых структурах может быть достигнута с помощью нескольких ключевых физических механизмов, каждый из которых основан на взаимодействии фемтосекундных лазерных импульсов с материалами, обладающими определёнными нелинейными и транспортными свойствами.

Фотопроводящая антенна (ФТ) является одним из наиболее часто используемых устройств для генерации и детектирования ТГц электрического поля. Принцип ее работы состоит в генерации носителей тока в результате межзонного поглощения фемтосекундного лазерного излучения и формировании импульса фототока пикосекундной длительности в электрическом поле, создаваемом постоянным внешним смещением, приложеннным к металлическим электродам. Амплитуда ТГц электрического поля, возбуждаемого импульсом фототока в дальней волновой зоне, определяется ускорением фотоносителей, т.е. пропорциональна производной от фототока по времени. Поэтому для получения эффективной ТГц генерации в фотоантенне необходимо использовать полупроводниковые материалы с достаточно высокими подвижностями носителей тока и с субпикосекундным временем жизни неравновесных носителей.

На рис. 1 приведен эскиз фотопроводящей антенны и концепция ее использования для генерации ТГц-импульсов. Фотопроводящая антенна состоит из двух металлических электродов, которые нанесены на полуизолирующую полупроводниковую подложку. Поскольку подложка является полуизолирующей, электрическая энергия накапливается в межэлектродной области, как в резервуаре. Фемтосекундные лазерные импульсы, генерируя в межэлектродной области электроны и дырки, действуют как переключатели, открывая резервуар электрической энергии и высвобождая ее в виде ТГц-импульсов. Чтобы генерировать фотоиндуцированные свободные носители в подложке энергия фотонов в возбуждающем оптическом импульсе должна быть выше ширины запрещенной зоны полупроводникового материала. Поляризация электрического поля излучаемой ТГц-волны параллельна напряженности электрического поля, которое перпендикулярно полосковым электродам. Для формирования пучка ТГц излучения используется гиперсферическая линза, изготовленная из тефлона или высокоомного кремния - материалов, слабо поглощающих в ТГц диапазоне частот.

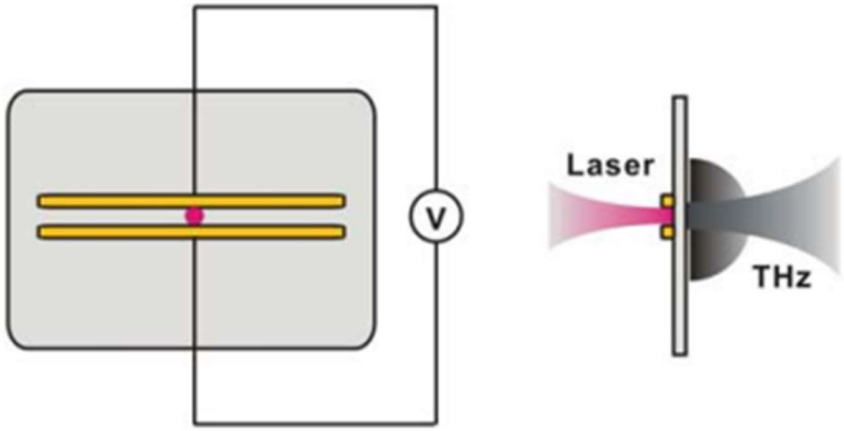


Рисунок 1 - Фотопроводящая антенна (слева) и принцип ее применения для генерации ТГц излучения

Первоначально фотопроводящие антенны создавались на основе специально выращенного GaAs, а для возбуждения использовались фемтосекундные титан-сапфировые лазеры. Однако в последнее время широкое распространение получили фотопроводящие антенны на основе полупроводников с меньшей шириной запрещенной зоны (GaBiAs, InGaAs). Для их фотовозбуждения применяются более дешевые и компактные лазеры, например, волоконные, генерирующие на длине волны 1.55 мкм, а также лазеры на основе иттербий содержащих сред, излучающие на длине волны 1.03 мкм. В настоящее время в фотопроводящих антеннах достигнуты эффективности преобразования оптического излучения в ТГц импульсы на уровне 10^{-3}.

Достаточно эффективная ТГц-генерация может быть получена при облучении поверхностей некоторых полупроводников фемтосекундными лазерными импульсами. Этот эффект наблюдался для самых разных полупроводниковых материалов, в том числе, и обладающих достаточно большими временами жизни фотоносителей. Как и в случае фотопроводящей антенны ТГц излучение обусловлено импульсом фототока, который индуцируется вблизи поверхности полупроводника при фемтосекундном лазерном облучении.

Существует несколько механизмов возникновения фототока, генерирующего импульсы ТГц излучения при фемтосекундном лазерном возбуждении поверхности полупроводника. Субпикосекундный импульс фототока может возникать в результате возбуждения электронов и дырок при межзонном поглощении фемтосекундного лазерного излучения и их пространственного разделения под действием встроенного приповерхностного электрического поля. Такой механизм ТГц генерации реализуется в полупроводниках с сильным приповерхностным изгибом зон, таких, например, как GaAs и InP. В пользу данного механизма свидетельствует противоположная полярность ТГц поля, генерируемого в GaAs n- и p-типа проводимости, которая объясняется разной полярностью обедненного электрического поля в этих образцах.

В узкозонных полупроводниках импульс фототока вблизи облучаемой поверхности может формироваться в результате пространственного разделения фотовозбужденных электронов и дырок, двигающихся вглубь образца с разной скоростью. Как известно, это явление называется эффект Дембера. В условиях стационарного освещения фотоэдс и фототок Дембера обычно малы. Однако при фемтосекудном облучении узкозонных полупроводников энергия фотовозбужденных электронов может значительно превышать тепловую энергию и поэтому фототок, возникающий за счет эффекта Дембера, может быть достаточно большим. В результате формируется дипольный момент, ориентированный перпендикулярно поверхности, который приводит к испусканию ТГц электромагнитного импульса. Этот механизм может реализовываться без применения каких-либо внешних или встроенных электрических полей, что делает его особенно привлекательным для пассивных источников ТГц излучения. Наиболее подходящими материалами для реализации ТГц излучателей на основе эффекта -Дембера являются полупроводники типа InAs, InSb и их соединения, поскольку они обладают высокой подвижностью электронов и малым временем релаксации носителей. Несмотря на простоту реализации, эффективность этого механизма сильно зависит от условий облучения и свойств поверхности кристалла, таких как пассивация, шероховатость и симметрия. На сегодняшний день наибольшая эффективность ТГц

генерации от поверхности полупроводника достигнута в полупроводнике InAs p-типа, облучаемого излучением титан-сапфирового лазера, генерирующего на длине волны 800 нм. ТГц излучатели, использующие эффект генерации от поверхности полупроводников, обладают примерно на порядок меньшей эффективностью по сравнению с фотоантеннами. Однако, благодаря простоте конструкции, а также возможности получать широкоапертурные ТГц пучки, эти излучатели находят практическое применение.

Генерация ТГц излучения может быть получена в p-i-n диодах, возбуждаемых фемтосекундными лазерными импульсами [3, 4]. В этих структурах между n и p-областями формируется слой собственной проводимости (i-область). При подаче обратного смещения в этой области создается электрическое поле с напряженностью, достигающей значений 10^6 В/см. При попадании фемтосекундного лазерного импульса в область i-слоя происходит генерация носителей заряда. Ускоряясь в электрическом поле, носители создают короткий импульс тока, который формирует ТГц излучение. Эффективность преобразования оптического излучения в ТГц импульсы в p-i-n диоде сублинейно растет с увеличением интенсивности возбуждающего излучения и обратного смещения. Передний фронт фототока определяется длительностью возбуждающего оптического импульса, тогда как динамика его заднего фронта контролируется двумя процессами- экранированием встроенного электрического поля и переходами фотовозбужденных электронов в боковые долины зоны проводимости, характеризующиеся меньшей подвижностью электронов. При достаточно больших отрицательных смещениях эффективность ТГц генерации в GaAs p-i-n диоде примерно на порядок превышает эффективность генерации от поверхности InAs, возбуждаемой на длине волны 800 нм.

В p-i-n диодах излучающий диполь ориентирован перпендикулярно поверхности структуры и поэтому большая часть генерируемого ТГц излучения испытывает полное внутреннее отражение. Этот эффект значительно ограничивает эффективность ТГц генерации, как в p-i-n структурах, так и от поверхности полупроводника. Для увеличения выхода ТГц излучения из этих структур используют магнитное поле, которое поворачивает излучающий диполь вдоль поверхности полупроводника. Таким путем удается увеличить выход ТГц излучения примерно на порядок.

Эффект нелинейного оптического выпрямления представляет собой еще один механизм генерации ТГц излучения. Это явление возникает при прохождении фемтосекундного лазерного импульса через нелинейный кристалл, не обладающий инверсной симметрией, Источником ТГц излучения в данном случае является нелинейная поляризация на частоте огибающей лазерного импульса, возникающая под действием электрического поля. Поскольку длительность лазерного импульса может составлять всего несколько десятков или сотен фемтосекунд, спектральная ширина генерируемого ТГц сигнала может достигать нескольких терагерц. Критически важным условием эффективной генерации в этом случае является фазовое согласование между оптической и терагерцовой волной, то есть соответствие групповой скорости лазерного импульса и фазовой скорости ТГц волны в кристалле. Для получения ТГц импульсов методом оптического выпрямления применяются такие материалы, как ZnTe, GaP. Первый из этих материалов эффективно генерирует ТГц излучение при возбуждении на длине волны 800 нм, а второй материал используется на длине волны 1030 нм. В последнее время для генерации ТГц излучения широко применяются органические полупроводники. Эти кристаллы характеризуются большими нелинейными восприимчивостями, а также высокой степенью фазового синхронизма. В ТГЦ излучателях на основе этих материалов были получены ТГц электрические поля с напряженностью ~10 МВ/см.

Различные физические механизмы генерации терагерцового излучения позволяют создавать источники ТГц электромагнитных импульсов под различные задачи, будь то лабораторная ТГц спектроскопия, неразрушающий контроль или получение ТГц изображений. Оптимальный выбор полупроводникового материала и конструкции излучателя зависят от длины волны возбуждающего лазера, желаемой полосы генерации и требуемого уровня мощности ТГц излучения.

Список использованных источников:

1. Introduction to THz Wave Photonics / X.-C. Zhang, J. Xu. – Springer, 2010. – 267 p.

2. Principles of Terahertz Science and Technology / Yun-Shik Lee. - Springer, 2009. – 340 p.

3. Terahertz radiation from large aperture Si p-i-n diodes / L. Xu [et al] // Appl. Phys. Lett. – 1991. – V. 59. – No 26. – P. 3357-3359.

4. Terahertz emission from GaInAs p-i-n diodes photoexcited by femtosecond laser pulses / I. Nevinskas [et al] // Lith. J. Phys. – 2016. – V. 55. - No 4. – P. 274-278.

5. THz generation by AlGaAs/GaAs heterostructured p-i-n diode / V. Trukhin [et al] // Appl. Phys. Lett. – 2024. – V. 125. – P. 031101 (1-5).

UDC 535.3;621.315.592

GENERATION OF THZ RADIATION IN SEMICONDUCTORS AND SEMICONDUCTOR STRUCTURES IRRADIATED BY FEMTOSECOND LASER PULSES

Ivanovich V.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics[1], Minsk, Republic of Belarus

Malevich V.L.– PhD in Physics and Mathematics

Annotation. This article provides a brief overview of the main mechanisms of generation of terahertz electromagnetic radiation in semiconductor structures excited by femtosecond optical pulses of femtosecond duration. The mechanisms of formation of photocurrent pulses in photoconductive antennas, pin diodes and in the near-surface regions of a semiconductor under the action of optical laser radiation are considered. The mechanism of THz generation based on the effect of nonlinear optical rectification in semiconductor crystals is also discussed.

Keywords. terahertz radiation, p-i-n structure, photoconductive antenna, photo-Dember effect, femtosecond laser.

УДК 621.31+621.3.082.2

МАГНИТОГИДРОДИНАМИКА И ЕЁ ПРИМЕНЕНИЕ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Писарева Е.А.[1], студентка гр.418301

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники[1]
г. Минск, Республика Беларусь

Чаевский В.В. – канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры физики

Аннотация. В статье рассматриваются основные принципы магнитогидродинамики (МГД) и её применение в энергетике. Описаны исторические аспекты развития МГД, ключевые уравнения, а также практическое использование в МГД-генераторах, термоядерных реакторах и системах охлаждения с жидкометаллическими теплоносителями. Особое внимание уделено перспективам развития МГД-технологий для повышения эффективности энергетических систем.

Ключевые слова. Магнитогидродинамика, МГД, электропроводящая жидкость, МГД-генератор, термоядерный реактор, магнитное поле, жидкометаллический теплоноситель, энергетика, сила Лоренца, уравнения МГД.

Магнитогидродинамика (МГД) — это раздел физики, изучающий движение электропроводящих жидкостей и плазмы в магнитных полях. Данное направление получило широкое применение в энергетике, включая разработку МГД-генераторов, термоядерных реакторов и систем охлаждения с жидкометаллическими теплоносителями [1].

Основы МГД были заложены в начале XX века в работах Джозефа Лармора, а затем развиты Ханнесом Альвеном, который в 1942 году предложил концепцию магнитогидродинамических волн (альвеновских волн) [2].

МГД объединяет уравнения гидродинамики и уравнения электромагнетизма Максвелла. Основные уравнения МГД включают:

Уравнение Навье-Стокса с учетом электромагнитных сил:

$$\rho\left(\frac{\partial v}{\partial t} + (v * \nabla)v\right) = -\nabla P + \eta_m \ \nabla^2 v + J * B \quad (1)$$

где ρ — плотность жидкости, v — скорость потока, P — давление, η_m — вязкость, J — плотность тока, B — магнитное поле [3].

Уравнение индукции (закон Фарадея для проводящей жидкости) (2):

$$\frac{\partial B}{\partial t} = \nabla * (v * B) + \eta_m \ \nabla^2 B \quad (2)$$

где η_m — магнитная диффузивность.

Закон Ома в движущейся среде (3):

$$J = \sigma(E + v * B) \quad (3)$$

где σ — удельная электропроводность, E — электрическое поле.

Эти уравнения описывают динамику проводящей жидкости в магнитном поле и являются фундаментом для применения МГД в энергетике.

В идеальном приближении считается, что электропроводность среды бесконечна, а диффузия магнитного поля отсутствует. Это приводит к тому, что силовые линии магнитного поля “заморожены” в движущуюся среду, следуя за ней в процессе эволюции.

Движение плазмы в рамках идеальной магнитной гидродинамики описывается системой уравнений, включающей закон сохранения массы (4), уравнение движения (5) и энергетическое уравнение (6).

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \nabla * \rho v = 0 \quad (4)$$

где ρ – плотность плазмы, а v – её скорость. Это уравнение отражает тот факт, что масса сохраняется при движении, а плотность изменяется только за счёт потока вещества.

Динамика плазмы определяется уравнением движения (5), аналогичным уравнению Эйлера для идеальной жидкости, но с дополнительным членом, описывающим влияние магнитного поля:

$$\rho \frac{\partial v}{\partial t} = -\nabla p + JB \quad (5)$$

где p – давление плазмы, B – магнитное поле, $J = \frac{1}{\mu_0}\nabla * B$ – плотность электрического тока, а J*B представляет собой силу Лоренца. Эта сила оказывает влияние на движение заряженных частиц,

вызывая их движение вдоль силовых линий магнитного поля или формируя устойчивые магнитные структуры, такие как солнечные вспышки и магнитосферные возмущения.

Баланс энергии в системе определяется энергетическим уравнением (6), которое включает вклад кинетической, внутренней и магнитной энергии:

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \nabla * \left[\left(E + p + \frac{B^2}{2\mu_0}\right) v - \frac{B(v*B)}{\mu_0}\right] = 0 \quad (6)$$

Одним из наиболее перспективных направлений МГД стало создание магнитогидродинамических генераторов (МГД-генераторов) — устройств, позволяющих напрямую преобразовывать тепловую энергию плазмы в электрическую. Схема МГД-генератора показана на рисунке 1.

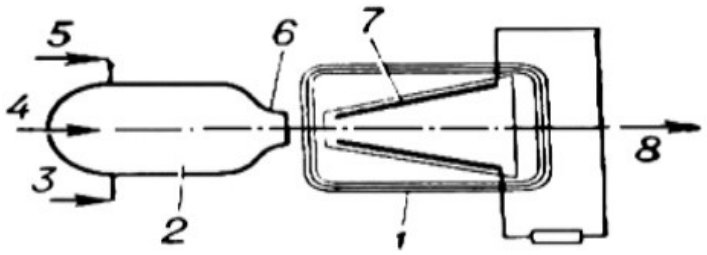


Рисунок 1 – Схема МГД-генератора: 1 — обмотка электромагнита; 2 — камера сгорания; 3 — присадка; 4 — воздух; 5 — топливо; 6 — сопло; 7 — электроды с последовательно включенной нагрузкой; 8 — выход продуктов сгорания

Рабочим телом в таких установках является высокотемпературная плазма, движущаяся в магнитном поле. Согласно формуле (7), основанной на законе Фарадея и законе Ома для движущихся сред:

$$E = vBL \quad (7)$$

где v — скорость потока, B — магнитная индукция, L — длина проводящего канала [4].

При движении проводящей жидкости в магнитном поле возникает электродвижущая сила, которая преобразуется в электрическую энергию, обеспечивая высокую эффективность работы системы.

В отличие от традиционных турбогенераторов, где используется механическое вращение, МГД-генераторы работают на принципе прямого преобразования энергии потока ионизированного газа в электричество. Это позволяет значительно повысить эффективность энергетических установок и снизить механические потери. Принцип работы МГД генераторов показан на рисунке 2:

1. Нагрев рабочего тела – газ (например, аргон с добавлением калия) нагревается до высоких температур (~3000 К), что приводит к его ионизации.
2. Движение плазмы через магнитное поле – поток газа проходит через канал генератора, пересекающий магнитное поле.
3. Индукция электрического тока – в плазме индуцируется электродвижущая сила.
4. Сбор электроэнергии – электроды, установленные вдоль потока, собирают электрический ток.
5. Охлаждение и рециркуляция газа – отработанный газ охлаждается и может повторно использоваться [3].

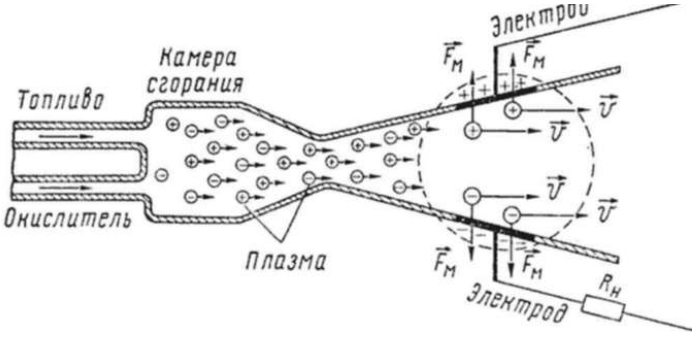


Рисунок 2 – Принцип работы МГД-генератора.

В термоядерных реакторах, таких как токамаки и стеллараторы, МГД используется для стабилизации плазмы. Магнитные поля создают ограничивающую «ловушку», предотвращая контакт горячей плазмы со стенками реактора [5].

Основное уравнение, описывающее равновесие плазмы в магнитном поле, — уравнение Граду-Шафранова (8):

$$\Delta\ \psi = -\mu_0 R^2 \frac{\partial p}{\partial \psi} - \frac{1}{2}\frac{\partial F^2}{\partial \psi} \quad (8)$$

где ψ— магнитный поток, p — давление плазмы, F — тороидальный поток [5].

Жидкие металлы (натрий, литий, ртуть) используются в ядерной энергетике в качестве теплоносителей. Для их циркуляции применяются МГД-насосы, строение которых представлено на рисунке 3.

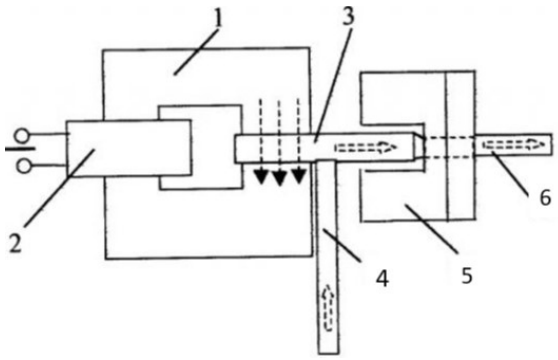


Рисунок 2 – Строение МГД-насоса: 1 — магнитопровод; 2 — обмотка; 3 — плоский канал; 4 — металлопровод; 5 — П-образный магнитопровод; 6 — выходной патрубок

Они обеспечивают надежность и эффективность транспортировки жидких металлов в экстремальных условиях, работающие по принципу силы Лоренца (9):

$$F = JB \quad (9)$$

это означает, что сила Лоренца действует перпендикулярно как вектору плотности тока, так и вектору магнитного поля.

Эти насосы бесконтактны и могут работать при экстремально высоких температурах, что делает их незаменимыми в перспективных реакторах [6].

Магнитогидродинамика играет важную роль в космических исследованиях и разработке инновационных технологий для освоения космоса. Например, МГД используется для проектирования двигателей нового поколения, таких как МГД-пропульсивные системы. Эти двигатели основаны на использовании ионизированного газа (плазмы) для создания тяги без движущихся частей, что позволяет существенно повысить надёжность и долговечность оборудования. Плазма движется под воздействием магнитных полей, а ЭДС, генерируемая за счёт взаимодействия магнитного поля и ионов, используется для управления траекторией космического аппарата. Такие системы особенно перспективны для длительных миссий в дальнем космосе.

Современные исследования направлены на повышение КПД МГД-генераторов за счёт оптимизации рабочих веществ (например, плазмы с добавками щелочных металлов; разработку сверхпроводящих магнитов для термоядерных реакторов; улучшение термостойкости материалов для МГД-устройств.

Магнитогидродинамика является важной областью современной физики, применяемой в энергетике для генерации электричества, управления термоядерными реакторами и создания бесконтактных насосов. Развитие этой науки открывает новые горизонты для энергетики будущего, делая её более эффективной и экологически чистой. Применение МГД позволяет использовать уникальные свойства электропроводящих жидкостей и плазмы для повышения производительности энергетических установок. Кроме того, изучение МГД-технологий способствует разработке новых методов теплового управления и охлаждения в экстремальных условиях.

Список использованных источников:

1. *Алеманов, В. В. Магнитная гидродинамика / В. В. Алеманов. М.: Наука, 2010. 320 с.*
2. *Alfven, H. Existence of Electromagnetic-Hydrodynamic Waves / H. Alfven // Nature. 1942. Vol. 150. P. 405.*
3. *Физическая энциклопедия: Магнитогидродинамика [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://femto.com.ua/articles/part_1/2098.html. Дата доступа: 20.03.2025.*
4. *Freidberg, J. P. Plasma Physics and Fusion Energy / J. P. Freidberg. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 698 p.*
5. *Wesson, J. Tokamaks / J. Wesson. Oxford: Oxford University Press, 2004. 808 p.*
6. *Moreau, R. Magnetohydrodynamics / R. Moreau. Springer, 2018. 301 p.*

UDC 621.31+621.3.082.2

MAGNETOHYDRODYNAMICS AND ITS APPLICATION IN ENERGY

Pisareva E.A.[1]

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus[1]

Chayeuski V.V.– PhD, associate professor of the Department of Physics

Annotation. The article discusses the basic principles of magnetohydrodynamics (MHD) and its application in the field of energy. Historical aspects of the development of MHD, key equations, and practical applications in MHD generators, thermonuclear reactors, and cooling systems with liquid-metal coolants are described. Special attention is given to the prospects of MHD technology development for improving the efficiency of energy systems.

Keywords. Magnetohydrodynamics, MHD, conductive liquid, MHD generator, thermonuclear reactor, magnetic field, liquid-metal coolant, energy, Lorentz force, MHD equations.

УСТРОЙСТВО ПАМЯТИ. FLASH-ПАМЯТЬ. DRAM. SRAM. SSD. ROM

Пупенко М.М. студент гр. 478103 Дрожжа И.М. студент гр. 478101

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Савилова Ю.И. – канд. техн. наук, доцент

Аннотация. В статье рассматриваются устройства электрической памяти: оперативная память (RAM, включая DRAM и SRAM), Flash-память, твердотельные накопители (SSD) и ROM. Описываются их физические принципы работы, устройство, преимущества и недостатки, а также области применения. Особое внимание уделяется нелетучей памяти (Flash, SSD) как наиболее распространенной в современных устройствах, тогда как ROM упоминается кратко для полноты картины. Работа направлена на анализ ключевых характеристик каждого вида памяти и их значения в вычислительных системах. Материал будет полезен IT-специалистам, стремящимся глубже понять устройство компьютеров и оптимизировать работу программ.

Ключевые слова. Электрическая память, Flash-память, DRAM, SRAM, SSD, ROM, полупроводниковые устройства, хранение данных.

Электрическая память является краеугольным камнем современных вычислительных систем, обеспечивая как временное, так и долговременное хранение данных, а также быстрый доступ к информации для процессоров и других компонентов. Её развитие напрямую связано с прогрессом в области полупроводниковых технологий, где ключевую роль играют такие элементы, как транзисторы и конденсаторы. Эти компоненты определяют не только скорость работы памяти, но и её энергоэффективность, долговечность и способность масштабироваться для удовлетворения растущих потребностей современных устройств — от смартфонов до суперкомпьютеров.

Транзисторы, выступающие в роли переключателей, управляют потоками электрического тока, позволяя записывать и считывать данные в виде двоичных состояний (0 или 1). Конденсаторы, в свою очередь, используются для хранения заряда, представляющего бит информации, что особенно важно в таких типах памяти, как DRAM. Комбинация этих элементов лежит в основе большинства современных технологий памяти, включая летучую RAM (Random Access Memory) и нелетучую Flash-память. Например, в DRAM один транзистор и один конденсатор образуют минимальную ячейку памяти, что позволяет достичь высокой плотности хранения, тогда как в SRAM сложная схема из шести транзисторов обеспечивает стабильность и скорость.

Современные системы используют различные виды памяти в зависимости от их характеристик и задач. Летучая память (volatile), такая как RAM, обеспечивает высокую скорость работы и временное хранение данных, необходимых для выполнения текущих операций процессора. Нелетучая память (non-volatile), к которой относятся Flash, SSD и ROM, предназначена для долговременного хранения информации, включая операционные системы, файлы и прошивки. Понимание различий между этими типами памяти и их физических основ позволяет разработчикам оптимизировать вычислительные системы, улучшая производительность и снижая энергозатраты. Например, замена HDD на SSD в ноутбуках сокращает время загрузки системы с минут до секунд, что демонстрирует практическую значимость выбора подходящего типа памяти.

Физические основы работы памяти: роль транзисторов и конденсаторов

Все полупроводниковые устройства памяти состоят из множества ячеек, каждая из которых способна хранить один или несколько бит данных. Конструкция этих ячеек определяет свойства памяти, такие как скорость доступа, энергопотребление и плотность хранения. Основными строительными блоками ячеек являются транзисторы и конденсаторы, чьи характеристики напрямую влияют на функциональность памяти.

DRAM (Dynamic RAM)

В динамической оперативной памяти (DRAM) каждая ячейка состоит из одного транзистора и одного конденсатора. Конденсатор хранит электрический заряд, представляющий бит данных (заряд — 1, отсутствие заряда — 0), а транзистор управляет доступом к этому заряду. Однако конденсаторы в DRAM имеют склонность к саморазряду из-за утечки тока через диэлектрик, что требует периодического обновления данных (процесс, известный как "рефреш"). Частота рефреша обычно составляет несколько тысяч раз в секунду (например, каждые 64 мс в DDR4), что увеличивает энергопотребление, но позволяет сделать DRAM чрезвычайно компактной и дешёвой в производстве. Современные модули DDR4 или DDR5 DRAM могут содержать миллиарды ячеек на одном чипе, обеспечивая объём памяти до 16–32 ГБ в одном модуле, а в серверных системах — до 128 ГБ. DRAM широко используется как основная оперативная память в компьютерах, смартфонах и игровых консолях благодаря своей высокой плотности и относительно низкой стоимости. Например, в смартфонах она обеспечивает быструю загрузку приложений, а в ПК — многозадачность. На рисунке 1 представлена схема ячейки памяти DRAM.

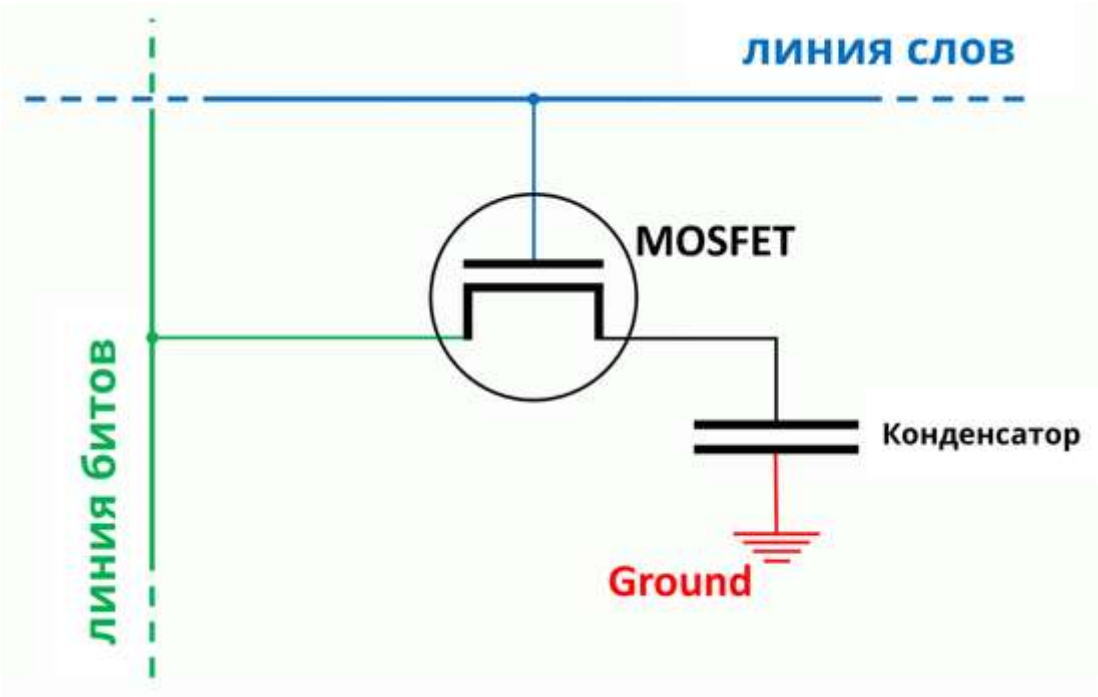


Рисунок 1 – Схема ячейки памяти DRAM

Статическая оперативная память (SRAM) отличается от DRAM тем, что не использует конденсаторы. Вместо этого каждая ячейка SRAM состоит из шести транзисторов, образующих триггерную схему (два инвертора с обратной связью), которая сохраняет состояние бита без необходимости обновления. Это делает SRAM значительно быстрее DRAM — время доступа может составлять всего 0,5–2 наносекунды по сравнению с 10–15 наносекундами у DRAM. Однако из-за большего числа транзисторов SRAM занимает больше места на кристалле и стоит дороже в производстве. Например, кэш-память процессоров Intel Core i9 или AMD Ryzen 9, выполненная на основе SRAM, обычно имеет объём от 256 КБ (L1) до 64 МБ (L3), что достаточно для хранения часто используемых данных и инструкций. SRAM применяется там, где требуется максимальная скорость, например, в кэш-памяти процессоров, регистрах и буферах сетевых устройств. Её высокая надёжность также делает её востребованной в критически важных системах, таких как авионика.

Flash-память представляет собой нелетучий тип памяти, основанный на транзисторах с плавающим затвором. В отличие от DRAM и SRAM, здесь данные сохраняются даже при отключении питания. Плавающий затвор — это изолированный слой в структуре транзистора, куда электроны "закачиваются" с помощью туннелирования Фаулера-Нордхейма или инжекции горячих электронов. Наличие заряда на затворе изменяет пороговое напряжение транзистора, что интерпретируется как 0 или 1. Стирание данных происходит путём обратного туннелирования, что требует высокого напряжения (10–20 В) и занимает больше времени, чем запись. Flash-память делится на два типа: NAND и NOR. NAND Flash обеспечивает высокую плотность хранения и используется в SSD и картах памяти, тогда как NOR Flash, благодаря быстрому произвольному доступу (~50 нс), применяется в прошивках и микроконтроллерах. Ограничение Flash-памяти — конечное число циклов записи (10 000–100 000), что связано с износом изоляционного слоя при многократных операциях. Для минимизации этого эффекта применяются алгоритмы вроде wear leveling, распределяющие нагрузку между ячейками. Схема ячейки Flash-памяти представлена на рисунке 2.

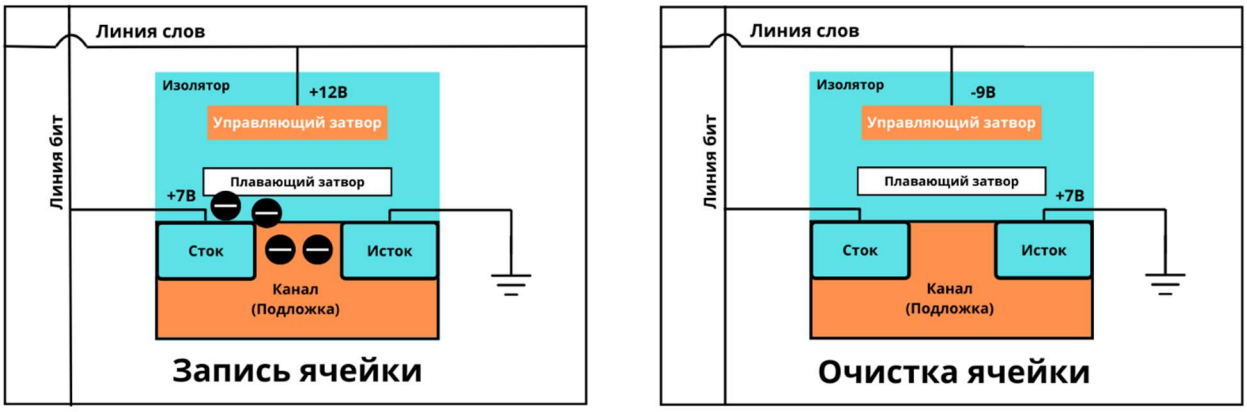


Рисунок 2 – Схема ячейки Flash-памяти

Нелетучая память: принципы работы и использование

Нелетучая память играет ключевую роль в современных устройствах, обеспечивая долговременное хранение данных. Её основные представители — Flash-память, SSD и ROM — различаются по конструкции и применению.

Flash-память

Flash-память стала стандартом для хранения данных благодаря своей компактности и энергонезависимости. NAND Flash, организованная в виде блоков, позволяет хранить большие объёмы данных (до нескольких терабайт в современных SSD), но операции чтения и записи выполняются медленнее, чем в NOR Flash, из-за блочной структуры. Например, запись в NAND Flash может занимать до 1 мс на блок, тогда как NOR Flash обеспечивает доступ к отдельным ячейкам за 50 нс. NOR Flash идеально подходит для хранения кода, например, в BIOS или встроенных системах автомобилей. Для повышения долговечности Flash-памяти используются технологии вроде wear leveling (равномерное распределение износа) и ECC (коды исправления ошибок), которые компенсируют деградацию ячеек при многократных циклах записи. В современных устройствах, таких как смартфоны, Flash-память обеспечивает хранение операционной системы и пользовательских данных.

SSD (Solid State Drive)

Твердотельные накопители (SSD) представляют собой эволюцию Flash-памяти, объединяя чипы NAND Flash с контроллером, который управляет операциями чтения, записи и стирания. Скорость чтения/записи современных SSD может достигать 5000–7000 МБ/с (например, в NVMe SSD на базе PCIe 4.0), что в десятки раз превышает показатели традиционных жёстких дисков (HDD, ~150 МБ/с). Отсутствие движущихся частей делает SSD устойчивыми к механическим повреждениям, а низкое энергопотребление (2–5 Вт против 10–15 Вт у HDD) повышает их эффективность в портативных устройствах. SSD применяются в ноутбуках, серверах, игровых консолях (например, PlayStation 5 использует кастомный SSD для ускорения загрузки игр) и облачных хранилищах, где важны скорость и надёжность. Контроллеры SSD также включают кэш на основе DRAM или SRAM для ускорения операций, что делает их гибридными системами.

ROM (Read-Only Memory)

Постоянная память (ROM) предназначена для хранения неизменяемых данных, таких как прошивки и базовые программы. Масочная ROM программируется на этапе производства и не подлежит изменению. PROM (Programmable ROM) позволяет однократную запись пользователем с помощью специального оборудования. EPROM (Erasable Programmable ROM) может быть стёрта ультрафиолетовым излучением и перепрограммирована, а EEPROM (Electrically Erasable Programmable ROM) поддерживает электрическое стирание и запись, что делает её более гибкой. Например, EEPROM часто используется в микроконтроллерах Arduino для хранения настроек или калибровочных данных. Объём ROM обычно невелик (от нескольких килобайт до мегабайт), но её надёжность и неизменяемость делают её незаменимой для низкоуровневых функций, таких как загрузка системы.

Обобщенные сведения всех основных типов электрической памяти продемонстрированы в таблице 1.

Таблица 1 – Обобщенные сведения всех основных типов электрической памяти.

Тип памяти	Volatility	Принцип работы	Преимущества	Недостатки	Области применения
Flash-память	Non-volatile	Ячейка с плавающим затвором, туннелирование/инжекция горячих электронов	Энергонезависимость, компактность	Ограниченное число циклов записи (10–100 тыс.)	SSD, USB-накопители, прошивки (NOR)
SSD	Non-volatile	Основано на NAND Flash, контроллер и чипы памяти	Высокая скорость, надёжность, низкое энергопотребление	Высокая стоимость по сравнению с HDD	ПК, ноутбуки, серверы
ROM	Non-volatile	Постоянное хранение данных (масочная, PROM, EPROM, EEPROM)	Надёжность, неизменяемость данных	Только чтение, ограниченная гибкость	BIOS, низкоуровневые функции
DRAM	Volatile	Ячейка с конденсатором и транзистором, требует перезагрузки	Низкая стоимость, высокая плотность	Медленнее SRAM, больше энергопотребление	Основная память ПК, смартфоны
SRAM	Volatile	Шесть транзисторов, формирующих устойчивую схему, не требует перезагрузки	Высокая скорость, надёжность	Высокая стоимость, больше места	Кэш-память процессоров

Перспективные технологии памяти

Современные исследования в области памяти направлены на преодоление ограничений традиционных технологий. Новые разработки, такие как MRAM, ReRAM, PCM и 3D NAND, предлагают улучшенные характеристики.

MRAM (Magnetoresistive RAM) использует магнитные туннельные переходы для хранения данных. Скорость доступа (~10 нс) сравнима с SRAM, а энергонезависимость делает её конкурентом Flash. MRAM уже применяется в некоторых промышленных системах, например, в контроллерах Everspin, и рассматривается как замена SRAM в кэш-памяти.

ReRAM (Resistive RAM) основана на изменении сопротивления материала (например, оксидов металлов) под воздействием тока. Её преимущества — низкое энергопотребление (менее 1 мкВт на ячейку) и высокая плотность. ReRAM может стать основой для нейроморфных вычислений благодаря аналоговому характеру сопротивления.

PCM (Phase Change Memory) использует переход материала (например, халькогенидов) между аморфным и кристаллическим состояниями для хранения данных. PCM сочетает скорость DRAM (~50 нс) и энергонезависимость Flash, что делает её перспективной для универсальной памяти. Intel Optane — пример коммерческого применения PCM.

3D NAND увеличивает плотность хранения за счёт вертикального расположения ячеек. Современные чипы 3D NAND (например, от Samsung или Micron) содержат до 176 слоёв, обеспечивая объём до 1 ТБ на одном кристалле, а в будущем — до 10 ТБ.

Эти технологии обещают повысить производительность, снизить энергозатраты и увеличить срок службы памяти, что особенно важно для искусственного интеллекта, больших данных и Интернета вещей (IoT). Например, MRAM и PCM могут сократить задержки в системах реального времени, таких как автономные автомобили.

Заключение

Электрическая память остаётся основой современных вычислительных систем, обеспечивая как быстрый доступ к данным, так и их долговременное хранение. Транзисторы и конденсаторы, лежащие в основе DRAM, SRAM и Flash, определяют ключевые характеристики памяти, такие как скорость, плотность и энергопотребление. Нелетучая память (Flash, SSD, ROM) и летучая память (RAM) дополняют друг друга, создавая гибкую экосистему для различных задач.

Перспективные технологии, такие как MRAM, ReRAM, PCM и 3D NAND, открывают новые горизонты, обещая преодолеть ограничения текущих решений. Например, внедрение PCM может привести к созданию универсальной памяти, объединяющей преимущества RAM и Flash, а развитие 3D NAND уже позволяет производить накопители объёмом в десятки терабайт. Эти инновации будут способствовать созданию более мощных, энергоэффективных и надёжных устройств, что особенно важно в эпоху цифровизации и роста объёмов данных. Дальнейшие исследования и разработки в этой области определят будущее вычислительных технологий, обеспечивая баланс между производительностью, стоимостью и долговечностью.

Список использованных источников:

1. Паттерсон Д.А., Хеннесси Дж.Л. Computer Organization and Design: The Hardware/Software Interface: учебник / Д.А. Паттерсон, Дж.Л. Хеннесси. – 5th ed. – Waltham, MA: Morgan Kaufmann, 2013. – 800 с.: ил. – ISBN 978-0-12-407726-3.

2. Таненбаум Э. Архитектура компьютера: учебник / Э. Таненбаум; пер. с англ. – 6-е изд. – СПб.: Питер, 2013. – 816 с.: ил. – ISBN 978-5-459-01624-6.

3. Взгляд изнутри: Flash-память и RAM / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://habr.com/ru/articles/135854/. – Дата обращения: 30.03.2025.

4. SRAM (память) — Википедия / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/SRAM_(память). – Дата обращения: 30.03.2025.

5. DRAM — Википедия / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/DRAM. – Дата обращения: 30.03.2025

6. Flash memory — Wikipedia / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Flash_memory. – Дата обращения: 30.03.2025.

7. Read-only memory — Wikipedia / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Read-only_memory. – Дата обращения: 30.03.2025.

8. Memory & Storage Solutions by Samsung / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.samsung.com/semiconductor/global.semi/en/products/memory-storage/. – Дата обращения: 01.04.2025.

СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ МАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Кравчинская Д.Н., студент гр. 478101, Тумаш Ю.М. студент гр. 478101

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Савилова Ю.И. – к.т.н., доцент кафедры физики

Аннотация. В статье анализируются системы хранения информации на магнитных дисках, раскрываются их физические основы, например, процесс намагничивания, и многообразие методов записи. Рассматриваются достоинства магнитных носителей, среди которых большая емкость, доступная стоимость и устойчивость к повреждениям, а также их минусы, такие как низкая скорость доступа к данным и износ. Отдельное внимание уделено применению магнитных систем в архивации, резервном копировании и профессиональных областях. В итоге подчеркивается значимость магнитных носителей в современных технологиях хранения информации, невзирая на имеющиеся ограничения.

Ключевые слова. Системы хранения данных, магнитные носители, магнитное намагничивание, технологии записи, емкость, экономичность, надежность, архивирование.

В устройствах для хранения данных могут применяться разные физические принципы хранения информации: магнитный, оптический, электронный. Сейчас в большинстве компьютеров информация хранится на носителях, использующих магнитные принципы. В устройствах, которые используют этот принцип, используются магнитные материалы.

Магнитные материалы — это материалы, которые обладают магнитными свойствами. К ним относят материалы, которые после намагничивания сами начинают создавать магнитные поля или же в магнитных полях меняют свои физические характеристики. Это постоянные магниты различного химического состава, магнитные жидкости, магнитореологические суспензии, магнитопласты и магнитоэласты.

Магнитное хранилище в виде проводной записи впервые было предложено Оберлином Смитом в журнале «Электрический мир» 8 сентября 1888 года. Смит запатентовал свою идею еще в сентябре 1878 года, но не смог воплотить ее в жизнь, так как занимался станками. Первый публично представленный (на Всемирной выставке в Париже в 1900 году) магнитный рекордер был изобретен Вальдемаром Поульсеном в 1898 году. Устройство Поульсена записывало сигнал на провод, намотанный вокруг барабана. В 1928 году Фриц Пфлеймер создал первый магнитофон. Первые магнитные запоминающие устройства предназначались для записи аналоговых аудиосигналов. Компьютеры, а сейчас и большинство аудио- и видеомагнитофонов записывают цифровые данные. В старых компьютерах магнитное хранилище использовалось также для первичного хранения информации: в виде магнитного барабана, основной памяти, памяти на магнитных сердечниках, тонкопленочной памяти, твисторной памяти или пузырьковой памяти. В отличие от современных компьютеров, магнитная лента также часто применялась для вторичного хранения.

Примерами магнитных носителей информации являются жесткие диски, гибкие диски, магнитные ленты и магнитные полосы на кредитных картах.

Магнитный носитель состоит из основы (пластмасса, алюминий), на которую нанесен тонкий ферромагнитный слой, называемый рабочим. Это показано на рисунке 1. В большинстве случаев рабочий слой – это ферролак. Рабочий слой способен намагничиваться под действием внешнего магнитного поля и сохранять остаточную намагниченность (индукцию) после удаления носителя от источника магнитного поля.

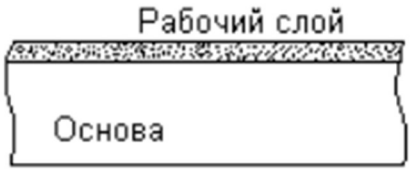


Рисунок 1 — Структура магнитного носителя.

Магнитные свойства материала характеризуются зависимостью магнитной индукции (степенью намагниченности) от силы внешнего магнитного поля. Для магнитной записи информации пригодны материалы, обладающие прямоугольной петлей Гистерезиса, т.е. материалы способные сохранять остаточную магнитную индукцию после прекращения действия внешнего магнитного поля.

Запись осуществляется записывающей магнитной головкой, которая представляет собой металлический или ферритовый сердечник с зазором, на который намотана катушка — это мы видим на рисунке 2. При записи по катушке головки записи пропускают ток записи. В результате в сердечнике головки возникает магнитный поток, который замыкается по рабочему слою носителя, находящемуся около рабочего зазора сердечника. Носитель намагничивается и при удалении от головки сохраняет намагниченность, т. е. обладает собственным магнитным потоком. Величина остаточной индукции и ее направление зависят от величины и направления тока в головке записи.

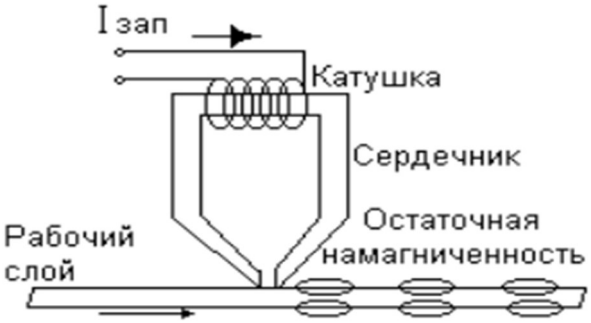


Рисунок 2— Принцип записи информации.

Чтение записанной информации осуществляется головкой чтения, которая имеет конструкцию аналогичную конструкции записывающей головки. При движении носителя перед зазором головки чтения намагниченный участок рабочего слоя приближается к зазору сердечника и магнитный поток его замыкается по сердечнику головки. Поскольку магнитный поток в сердечнике меняется вследствие движения носителя то в катушке наводится ЭДС. При удалении намагниченного участка носителя от зазора головки магнитный поток в сердечнике уменьшается, а ЭДС меняет знак и также уменьшается.

Способы записи данных различаются методом формирования сигналов данных Д и синхронизации С в битовых элементах. В основных способах записи бит данных Д кодируется одинаково: 1 соответствует изменению (переходу) в середине элемента, а 0 — его отсутствию. Способы записи показаны на рисунке 3.

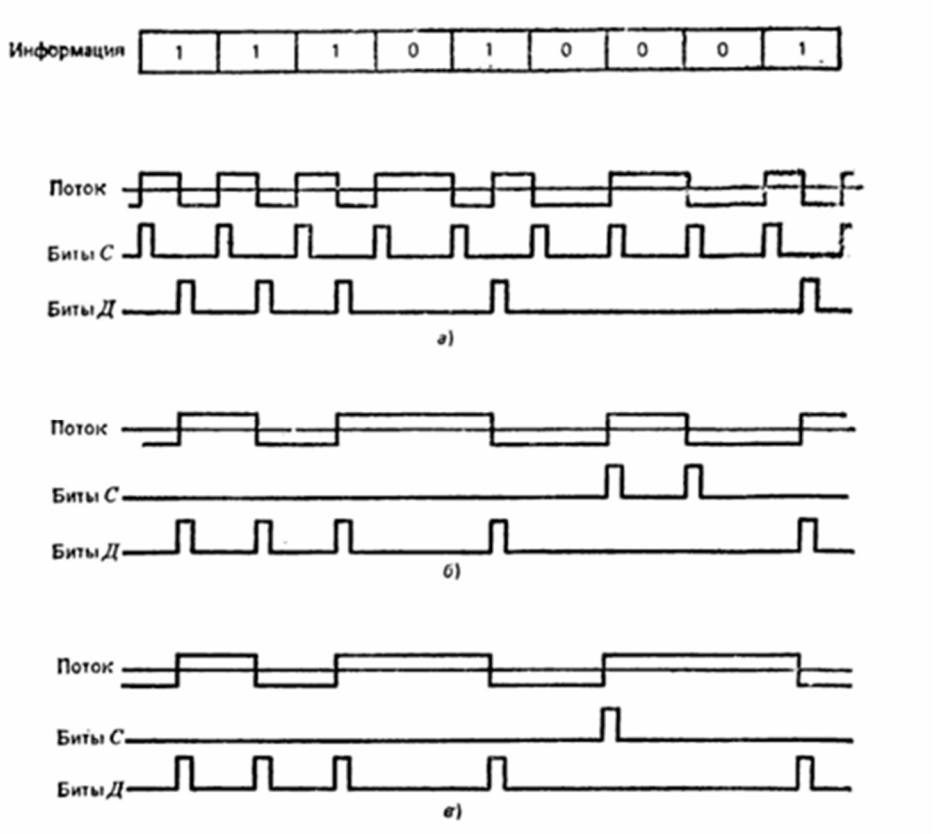


Рисунок 3 —Способы записи информации на магнитные диски: а — ЧМ-кодированне; б — модифицированное 4М-кодирование; в — модифициро ванное МЧМ-кодирование

Способ записи информации с частотной модуляцией (ЧМ-кодирование, рис. 4.6, а) характеризуется записью бита синхронизации в начале каждого битового элемента. При считывании одних нулей формируется поток импульсов с одинарной частотой, а при считывании одних единиц — с двойной частотой. В модифицированном ЧМ-кодировании (МЧМ-кодировании) запись битов синхронизации С производится только в том случае, если текущий битовый элемент и предыдущий битовый элемент содержат нули (рис. 4.6,6). Модифицированное МЧМ-кодирование (М2ЧМ-кодирование) характеризуется тем, что запись бита С осуществляется только тогда, когда текущий битовый элемент равен 0, а в предыдущем битовом элементе не было изменений потока данных ни от данных, ни от сигналов синхронизации (рис. 4.6, в). Из диаграмм (рис. 4.6, б, в) следует, что в модифицированных способах записи можно в 2 раза увеличить ее плотность, если уменьшить длительность битовых элементов в 2 раза. Однако сокращение числа сигналов синхронизации усложняет схемы записи и восстановления данных.

Системы хранения данных на магнитных носителях имеют свои плюсы и минусы, которые стоит учитывать.

Во-первых, одним из главных преимуществ является высокая ёмкость. Существуют устройства, способные хранить десятки и даже сотни терабайт информации. Это делает их идеальными для крупных компаний с большими объемами данных. Кроме того, разнообразие технологий, таких как линейная и наклонно-строчная магнитная запись, позволяет выбрать оптимальное решение для конкретных задач.

Еще одним важным аспектом является экономичность. Стоимость хранения данных на магнитных носителях обычно ниже, особенно при больших объемах, что может существенно снизить затраты. Надежность таких систем также на высоком уровне – многие из них хорошо переносят перепады температуры и влажности. Плюсом является и совместимость новых устройств со старыми формами, что позволяет продолжать использовать существующие картриджи.

Однако, у магнитных носителей есть и недостатки. Во-первых, скорость доступа к данным может быть медленной, особенно при использовании линейной магнитной записи. Это может быть проблемой, если требуется быстрый доступ к информации. Также стоит отметить, что некоторые системы требуют специализированного оборудования и технического обслуживания, что может усложнить их использование.

Еще один момент – это износ носителей. Магнитные ленты могут терять свои свойства со временем, поэтому нужно регулярно обновлять оборудование. Хотя скорость записи может быть высокой, в реальности она часто оказывается ниже заявленной из-за старт-стопного режима работы. И, конечно, физические повреждения ленты могут привести к потере данных, если не предусмотрены механизмы восстановления.

В общем, системы хранения данных на магнитных носителях обладают как преимуществами, так и недостатками, и выбор конкретного решения зависит от потребностей пользователя.

Области применения магнитных систем хранения данных (СХД) разнообразны и охватывают множество аспектов. Во-первых, магнитные носители, такие как диски Zip и Jaz, отлично подходят для архивирования данных. Они обеспечивают долговременное хранение больших объемов информации, включая важные документы и базы данных.

Во-вторых, эти устройства широко используются для резервного копирования данных, что позволяет защитить информацию от потерь в случае сбоев или аварий. Благодаря высокой производительности магнитные носители также становятся идеальным решением для передачи больших файлов между компьютерами, что особенно важно в сфере издательства.

Кроме того, магнитные дисководы с сменными картриджами удобны для временного хранения больших файлов, что освобождает место на жестком диске для других проектов. Популярность таких носителей, как Zip и Jaz, объясняется их совместимостью и массовым распространением, что упрощает обмен данными между пользователями.

Наконец, магнитные носители активно применяются в профессиональной деятельности, где требуется высокая скорость доступа и надежность, например, в дизайне и печати. В целом, магнитные СХД играют важную роль в современных процессах, требующих надежного и емкого хранения информации.

В заключение, системы хранения данных на магнитных материалах играют значимую роль в современных технологиях. Их высокая емкость и экономичность делают их отличным выбором для архивирования и резервного копирования информации. Физические принципы, такие как намагничивание ферромагнитных материалов, обеспечивают надежное сохранение данных. Магнитные носители широко применяются в профессиональных сферах, где важны надежность и скорость доступа. Несмотря на некоторые недостатки, включая износ и медленный доступ, они продолжают эффективно удовлетворять потребности пользователей и адаптироваться к новым вызовам.

Список использованных источников:

1.Устройства магнитного хранения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://modern-pc.narod.ru/Pages/Index_009.html. – Дата обращения: 25.03.2025.

2. Устройства хранения данных: лекции / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://lab127.karelia.ru/~psf/pc/Lectures/Data_storage_devices_HDD.pdf. – Дата обращения: 25.03.2025.

3. Способы организации хранения информации на магнитных носителях / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.vlrscc.ru/uch/os_new/zan/z4/lec1_4.pdf. – Дата обращения: 25.03.2025.

4. Технические средства информационных систем: учебное пособие для студентов 3 курса специальности 080802 / Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. – Сергиев-Посад, 2002.

5. Мячев А.А., Степанов В.Н. Персональные ЭВМ и микроЭВМ. Основы организации: справочник / под ред. А.А. Мячева. – М.: Радио и связь, 1991. – 320 с.: ил. – ISBN 5-256-00406-9.

6. Системы хранения данных на магнитных лентах / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.nstor.ru/ru/catalog/backup/obschaja_informatsija/6.html. – Дата обращения: 25.03.2025.

7. Притягательная сила магнитных носителей / Боб Уэйбел. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.publish.ru/articles/199902_4041869. – Дата обращения: 25.03.2025.

УДК 621.317.3

ЭФФЕКТ ХОЛЛА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ

Елаш Н.Д., Ефимчик К.П., студенты гр.424403

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Солодухин И.А. – канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры физики

Аннотация. Данная работа посвящена исследованию на тему эффекта Холла и его применения. Анализируются основные принципы работы датчиков Холла, их использование в различных сферах.

Ключевые слова. эффект Холла, датчики Холла, магнитное поле, полупроводники, InSb, сенсоры, миниатюрные датчики.

Введение. Эффект Холла – это явление, наблюдаемое в проводниках или полупроводниках при прохождении тока через них в перпендикулярном направлению тока магнитном поле. При воздействии магнитного поля на движущиеся электрические заряды в проводнике возникает поперечное электрическое поле, перпендикулярное как направлению тока, так и магнитному полю (рис. 1).

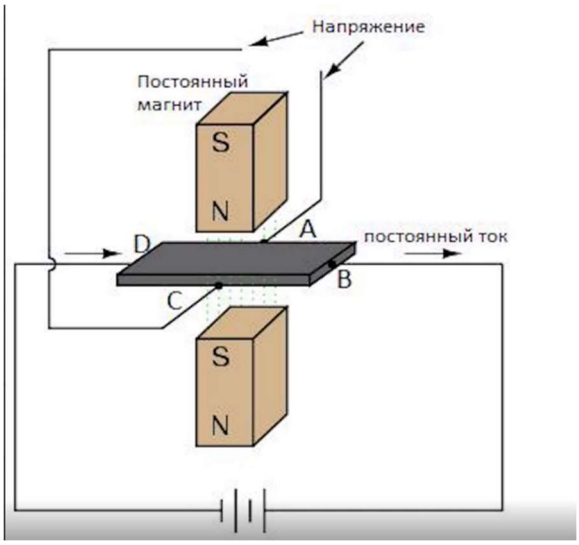


Рисунок 1 – Схематическое представление эффекта Холла

Этот эффект был открыт американским физиком Эдвардом Холлом в 1879 году. Когда проводник с током помещается в магнитное поле, на его краях начинает действовать сила Лоренца, которая отклоняет носители тока (например, электроны) вбок. Это создает разницу потенциалов между сторонами проводника, которая называется поперечным напряжением Холла.

$$U_H = R \cdot \frac{IB}{d} \quad (1)$$

Если расписать постоянную Холла (*R*), то формула примет следующий вид.

$$U_H = \frac{IB}{ned} \quad (2)$$

Эта формула, которая применяется к токопроводящей пластине, говорит нам, что напряжение Холла зависит от величины тока (*I*), протекающего через проводник, от магнитной индукции (*B*), от элементарного заряда электрона (*e*), количества электронов в единице объема (*n*) и от толщины пластины (*d*).

Основная часть. Этот физический эффект стал важнейшим инструментом исследования полупроводников, позволяя не только измерять концентрацию носителей заряда, но и определять их тип – электроны или дырки. В современных условиях измерение магнитных полей осуществляется различными методами – от простейших устройств до сложных высокоточных систем. Наиболее простыми датчиками являются герконы, принцип работы которых основан на замыкании контактов под действием магнитного поля. Эти устройства нашли широкое применение в системах безопасности, например, в датчиках открытия дверей и окон. Более совершенные измерения проводятся с

использованием современных магнитометров, среди которых особое место занимают датчики Холла. Они подразделяются на цифровые (униполярные и биполярные) и аналоговые, обеспечивая либо дискретный сигнал, либо непрерывное измерение магнитной индукции.

Хотя в большинстве датчиков используется классический эффект Холла, существуют и другие его разновидности. Аномальный эффект Холла наблюдается в материалах без внешнего магнитного поля и обусловлен спин-орбитальным взаимодействием. Квантовый эффект Холла проявляется при экстремально сильных магнитных полях и низких температурах, демонстрируя квантование сопротивления. Спиновый эффект Холла, приводящий к разделению электронов с разными спинами, представляет особый интерес для перспективных направлений спинтроники. Мы будем рассматривать классический эффект Холла.

Наряду с датчиками Холла существуют и другие методы детектирования магнитных полей, включая катушки индуктивности, оптические методы (эффекты Керра и Фарадея), а также сверхпроводящие датчики, отличающиеся высокой точностью, но сложностью применения.

Благодаря своей компактности, доступности и универсальности датчики Холла нашли широчайшее применение в различных сферах. В электронике они используются в клавиатурах, дисководах и системах охлаждения компьютеров. В автомобильной промышленности датчики применяются в антиблокировочных системах тормозов, они отслеживают скорость вращения колес и передают данные в бортовой компьютер. Кроме того, датчики Холла используются в системах зажигания, управлении впрыском топлива, определении положения коленчатого вала, контроле угла поворота колес при маневрах, а также для диагностики работы электродвигателей путем фиксации их вращения. Закрепив постоянный магнит на валу, получим простой счетчик оборотов, а также можно обеспечить контроль скорости вращения валов и точное позиционирование в робототехнических системах (рис. 2).

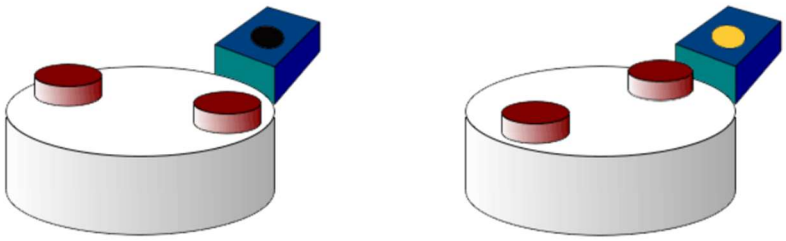


Рисунок 2 – Принцип определения скорости и наличия вращения

Также датчики нашли своё применение и в электротехнике, например, существуют различные модели токоизмерительных клещей, основанные на этом эффекте. В отличие от обычных клещей с трансформатором тока, модели с датчиком Холла способны измерять не только переменный, но и постоянный ток. Кроме того, стационарные кольцевые датчики на эффекте Холла (рис. 3) обеспечивают дистанционный контроль параметров цепи и автоматическое управление нагрузками без необходимости прямого вмешательства человека.



Рисунок 3 – Кольцевой токоизмерительный датчик, работающий на эффекте Холла

Датчики Холла широко применяются в бесколлекторных (вентильных) электродвигателях, включая сервоприводы. В конструкции некоторых электрических двигателей постоянного тока используются датчики, которые обеспечивают контроль положения ротора и передают соответствующие сигналы на управляющий контроллер. В качестве примера на рисунке 4 показан электрический вентилятор с датчиком Холла.



Рисунок 4 – Электрический вентилятор с датчиком Холла

Датчики Холла широко применяются в системах управления различными устройствами, включая джойстики для дистанционного управления космическими аппаратами (такими как Луноход), тяжелой строительной техникой (карьерными самосвалами, экскаваторами, погрузчиками), а также промышленным оборудованием (кранами и другими механизмами).

Бытовые приборы, такие как стиральные машины и холодильники, используют датчики Холла для контроля положения дверей. Также их активно используют в медицине для контроля точности в различных медицинских устройствах и системах. Например, в МРТ-сканерах, КТ-аппаратах и рентгеновском оборудовании. Кардиостимуляторы и дефибрилляторы используют датчики Холла для просмотра работы механических элементов. Анализаторы крови их применяют для точного дозирования реагентов. На основе эффекта Холла работают некоторые ионные реактивные двигатели.

Также датчики Холла применяют и в космосе. Например, АРГУС (программа Марс-96), у которого были цели изучить атмосферу и поверхность Марса (рис. 5). Для этого в него были встроены такие датчики, как полнооборотный датчик угла поворота, секторный датчик угла поворота, устройство гальванической развязки, бесконтактный выключатель.

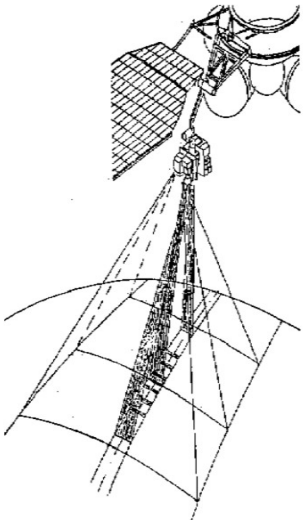


Рисунок 5 – АРГУС

В космическом аппарате «Марс Экспресс» летает прибор «Омега» – картрирующий спектрометр видимого и ближнего ИК диапазонов с сенсорами положения. Три независимые канала измерений сенсора обеспечивали точность в 1 угловую секунду.

Сейчас их применяют при производстве космической техники, автотранспорта и авиационной техники, в системах управления производственными процессами, в измерительной и вычислительной технике, атомной промышленности, в дефектоскопии, медицинских и бытовых приборах и т.д.

Существуют технологии датчиков, которые будут развиваться в будущем, но уже имеют применение в наши дни. Одним из таких примеров являются полупроводниковые приборы на основе гетероэпитаксиальных структур антимонида индия (InSb). Это может стать новым поколением миниатюрных датчиков.

InSb – узкозонный полупроводник, характеризующиеся высокими значениями подвижности и собственной концентрации электронов при температуре T = 300 K . При использовании InSb в качестве активного слоя изменение температуры на один градус приводит к относительному изменению собственной концентрации на 2.2%, у более широкозонных полупроводников изменение собственной концентрации в процентном соотношении больше (например, для Si оно составляет 8.3% на один градус). Таким образом, благодаря высокой подвижности и слабой зависимости собственной концентрации от температуры, InSb широко используется для изготовления датчиков магнитного поля.

Ввиду отсутствия непроводящих подложек для создания датчиков Холла слои InSb выращиваются на полуизолирующих подложках GaAs или высокоомных подложках Si.

Уже через десятилетие датчики Холла могут стать неотъемлемым элементом множества передовых технологических систем благодаря своей компактности, энергоэффективности и способности точно измерять магнитные поля. В первую очередь, их широкое применение прогнозируется в области нейротехнологий: они будут встраиваться в нейроинтерфейсы нового поколения для считывания слабейших сигналов от нейронов мозга, обеспечивая более точное и надёжное управление внешними устройствами силой мысли. Это откроет новые горизонты для людей с ограниченными возможностями, а также для развития человеко-машинных интерфейсов в профессиональной сфере – от медицины до космических миссий.

Кроме того, датчики Холла найдут применение в наноробототехнике и гибкой электронике: к примеру, в медицинских наноустройствах, способных передвигаться по кровеносным сосудам и выполнять целевые задачи (доставка лекарств, микрохирургия) под управлением внешнего магнитного поля. Такие устройства смогут автономно адаптироваться к изменениям в организме благодаря встроенным сенсорам Холла, реагирующим на малейшие магнитные флуктуации.

В смарт-материалах будущего датчики Холла будут отвечать за самонастройку и самодиагностику конструкций — от «умных» зданий и мостов до летательных аппаратов, повышая их безопасность и долговечность. В транспортной сфере ожидается их активное применение в электромобилях следующего поколения, где они обеспечат абсолютную точность в управлении электродвигателями, системами рекуперации энергии и адаптивной подвеской.

Также предсказывается внедрение датчиков Холла в квантовые вычислительные системы и магнитооптические устройства, где они будут использоваться для сверхчувствительного измерения квантовых состояний и управления спиновыми структурами. Благодаря достижениям в области нанофабрикации, эти сенсоры станут ещё миниатюрнее и точнее, что позволит им интегрироваться в структуры, ранее считавшиеся недоступными для классических сенсорных технологий.

Универсальность и надежность датчиков Холла сделали их неотъемлемым компонентом современных технологических решений, прочно вошедшим в нашу повседневную жизнь.

Вывод. Эффект Холла, открытый более века назад, сегодня стал фундаментом для создания широкого спектра устройств, играющих ключевую роль в самых разных областях – от бытовой техники до космических исследований. Благодаря своей универсальности, точности и компактности датчики Холла применяются в автомобилестроении, электронике, медицине, энергетике и промышленности. Развитие технологий и появление новых материалов, таких как InSb, открывает перед этими сенсорами ещё более широкие перспективы – от внедрения в нейроинтерфейсы и нанороботы до использования в квантовых системах. Эффект Холла – это не просто физическое явление, а мощный инструмент, формирующий облик технологий настоящего и будущего.

Список использованных источников:

1. Understanding and Applying the Hall Effect / Robert Keim // 03.07.2015 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/understanding-and-applying-the-hall-effect/

2. Semiconductor Devices Physics and Technology / S. M. Sze // John Wiley & Sons, Inc, 2002. – 576 p. Режим доступа: https://uodiyala.edu.iq/uploads/PDF%20ELIBRARY%20UODIYALA/EL95/Semiconductor.Devices_Physics.Technology_Sze.2ndEd_Wiley_2002.pdf

3. Эффект Холла: что это, зачем используется и где применяется / 23.05.2021 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://habr.com/ru/companies/selectel/articles/555950/

4. Sensors and Signal Conditioning / Ramón Pallás-Areny, John G. Webster // John Wiley & Sons, Inc, 2001. – 571p. Режим доступа: https://content.e-bookshelf.de/media/reading/L-805983-159098eec0.pdf

5. Моделирование кинетических и термоэлектрических свойств антимонида индия – диссертационная работа / Сергеев Г. С. // Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», 2014. – 152 с. Режим доступа: http://www.issp.ac.ru/ebooks/disser/Sergeev_G_S.pdf

6.. InSb/GaAs-гетероструктуры для датчиков магнитного поля / М. А. Суханов [и др.] // Письма в Журнал технической физики, 2023.– С. 27-30. Режим доступа: https://www.mathnet.ru/links/7c6820235102f0303ce3bbd606b5e7a8/pjtf7095.pdf

UDC 621.317.3

THE HALL EFFECT AND ITS APPLICATION

Yelash N.D., Yefimchik K.P. *Students group 424403*

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics
Minsk, Republic of Belarus

Saladukhin I.A. – PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor, Department of Physics

Abstract. This paper is devoted to the study of the Hall effect and its applications. The fundamental principles of Hall sensors and their use in various fields are analyzed.

Keywords. Hall effect, Hall sensors, magnetic field, semiconductors, InSb, sensors, miniature devices.

УДК 616-079-026.572

СПОСОБЫ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДОЛОГИИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ЭЛАСТОМЕТРИИ

Рязанова Е. С., Кожемякина М. В., студенты гр. 478104

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Савилова Ю.И. – канд. техн. наук, доцент

Аннотация. Работа представляет собой статистическое исследование результатов ультразвуковой эластометрии ткани печени с последующей выработкой простых методических принципов повышения достоверности результатов. Впервые показана возможность использования взаимного сочетания данных стандартной эластограммы для выбора оптимальной глубины зоны интереса исследования.

Ключевые слова: ультразвуковая диагностика, эластометрия, эластография, сдвиговая волна, фиброз.
Key words: ultrasound diagnostics, elastometry, elastography, shear wave, fibrosis.

Эластометрия печени сдвиговой волной – дополнение к стандартному ультразвуковому исследованию для определения стадии фиброза. Является прорывным методом, активно внедряемым в медицинскую практику по всему миру с 2000-х годов [1,2]. В зону интереса посылаются сфокусированные «толчковые» ультразвуковые импульсы, от которых формируются механические сдвиговые волны. При этом происходит сканирование обычными ультразвуковыми волнами через короткие интервалы, с последующим сравнением исходного и конечного состояния среды. Затем рассчитываются значения жесткости ткани на основании эмпирического уравнения, позволяющего рассчитать модуль Юнга, который определяет жесткость среды. Скорость распространения сдвиговой деформации связана с жесткостью среды [2,3,4].

При проведении медицинских исследований нередко получают данные, пограничные между стадиями фиброза. Также имеются случаи необычно высокой вариабельности данных, что может быть связано или с неравномерным распределением жёсткости ткани печени (неоднородный фиброз), или с ошибкой части измерений (проба попала в капсулу печени, стенку сосуда и т.д.) [1,3]. Встречаются противоречия полученных результатов из-за искажающего влияния пищевой или физической нагрузок [1,4]. В таких ситуациях решающим критерием, по нашему мнению, могло бы стать дополнительное измерение на определённой (характерной) глубине печени.

Целью работы является усовершенствование методики ультразвуковой эластометрии с расширением ее возможностей и модернизацией соответствующего программного обеспечения. Внимание уделено вопросам повышения достоверности метода путём улучшения стандартизации измерений на основе выявления статистических закономерностей механических процессов в естественных условиях. Исследовали распределение значений скорости сдвиговой волны в зависимости от глубины измерения и структуры ткани печени.

Проводился анализ 50 эластограмм, рутинно выполненных врачом УЗИ по стандартной методике. Каждая эластограмма состоит из 10 измерений скорости сдвиговой волны в разных точках ткани печени на разных глубинах. Вычислялся коэффициент корреляции между глубиной пробы и показателем жёсткости ткани на этой глубине. Также определялась связь тенденции распределения значений жёсткости по глубине каждой пробы с другими показателями всей эластограммы: общим показателем жёсткости и уровнем равномерности распределения жёсткости.

На основании выявленных закономерностей предложен оригинальный алгоритм обработки результатов измерений, позволяющий оптимизировать поиск наиболее информативных точек взятия эластометрической пробы. Результаты работы были сведены в компактную блок-схему, которая может быть использована для усовершенствования программного обеспечения ультразвуковой аппаратуры.

Список использованных источников

1. Постнова Н.А., А. В. Борсуков А.В., Т. Г. Морозова Т.Г. и др. Компрессионная эластография печени: методика, особенности получения эластограмм, анализ ошибок и артефактов. Радиология-практика №2(50) 2015. с.45-54.

2. Митьков В. В., Митькова М.Д. Ультразвуковая эластография сдвиговой волной // Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2015. № 2. С. 94–108.

3. Фомина, С.В. Ультразвуковая эластография: учебное пособие. под ред. М.А. Зоркальцева. – Томск: Изд-во СибГМУ, 2024–42с.

4. Dietrich C. F., Bamber J., Berzigotti A. et al. EFSUMB Guidelines and recommendations on the clinical use of liver ultrasound elastography, Update 2017 (Long Version) // Ultraschall Med. 2017. Vol. 38 (4). P. 16—47.

UDC 616-079-026.572

METHODS FOR IMPROVING THE METHODOLOGY OF ULTRASOUND ELASTOMETRY

Ryazanova E.S., Kozhemyakina M.V., students of group 478104

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics[1], Minsk, Republic of Belarus

Savilova Yu.I. – PhD, Associate Professor of the Department of Physics

Annotation. The work presents a statistical study of the results of ultrasound elastometry of liver tissue, followed by the development of simple methodological principles to enhance the reliability of the results. For the first time, the possibility of using a combination of standard elastogram data to select the optimal depth of the region of interest for the study is demonstrated.

Keywords. Ultrasound diagnostics, elastometry, elastography, shear wave, fibrosis.

УДК 004.932.4

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ПОМОЩЬЮ РЕШЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Адамович К.В., Криващёкая А.Д., Щурко А.А.[1], студенты гр.421702

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники[1]
г. Минск, Республика Беларусь

Чаевский В.В. – канд. физ.-мат. наук доцент, доцент кафедры физики

Аннотация. В статье изучаются численные методы моделирования физических процессов, в основе которых лежат дифференциальные и интегральные уравнения. Рассматриваются также их классификации, различные методы решения и ключевые аспекты: дискретизацию операторов и интегральные преобразования для упрощения анализа и вычислений. Анализируется эффективность применения и использования их при моделировании физических процессов.

Ключевые слова. Математическое моделирование, дифференциальные уравнения, математическая физика, интегральные уравнения, численные методы.

Математическое моделирование сочетает в себе искусство и науку для изучения явлений и объектов реального мира. Модель представляет собой сущность, воспроизводящую явление, объект или свойство реального мира. Математическая модель (ММ) отличается тем, что информация о моделируемом объекте представлена через математические выражения и символы, что делает её незаменимой в инженерии и науке.

Одним из методов моделирования является использование дивергентного вида уравнений — дифференциальных уравнений, преобразованных из законов сохранения массы, энергии и импульса в интегральной форме, применимых к сплошной среде. Эти уравнения широко применяются в гидродинамике и термодинамике.

Ключевой аспект любой ММ — её чувствительность, характеризующая зависимость решений от начальных условий и параметров. Высокая чувствительность может вызывать сомнения в применимости модели из-за её нестабильности. Также важным процессом является дискретизация оператора, при которой функциональные операторы заменяются алгебраическими выражениями, зависящими от значений функции в определённых точках. Это облегчает вычисления и делает их применимыми в симуляциях.

Математическое моделирование служит связующим звеном между абстрактной математикой и реальным миром, позволяя исследовать сложные системы и явления с высокой точностью и эффективностью. В свою очередь, математическая физика изучает математические модели физических явлений, объединяя методы математики и физики. Она анализирует существующие модели для описания процессов, таких как механика, электродинамика и квантовая механика.

Математическая физика охватывает три основных типа задач, каждая из которых имеет свои особенности [2]:

1. Задачи Коши (начальные условия);
2. Краевые задачи (граничные условия);
3. Смешанные задачи (начальные и граничные условия).

Уравнения в математической физике можно классифицировать по различным критериям:

- Линейные (с постоянными или переменными коэффициентами):

$$a_0(x)y^{(n)} + a_1(x)y^{(n-1)} + \cdots + a_n(x)y = f(x); \quad (1)$$

- Квазилинейные:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial h^2} + F_1(x, h, u, u_x, u_h) = 0. \quad (2)$$

Уравнения описывают различные физические явления, в зависимости от происходящего процесса:

- Параболические (теплопроводность, диффузия);
- Гиперболические (волновые движения);
- Эллиптические (стационарные поля).

Каждое уравнение имеет своё физическое применение. Примеры уравнений:

- Уравнение переноса (конвекция):

$$\frac{\partial U(x,t)}{\partial t} + c\,\frac{\partial U(x,t)}{\partial x} = \Phi(U,x,t); \quad (3)$$

- Волновое уравнение (звуковые волны):

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right); \quad (4)$$

-
- Уравнение теплопроводности:

$$\frac{\partial u}{\partial t} - a^2\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x_2^2} + \cdots + \frac{\partial^2 u}{\partial x_n^2}\right) = f(x,t); \quad (5)$$

- Уравнение Лапласа (стационарные поля):

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = 0. \quad (6)$$

Корректность задач зависит от существования, единственности и непрерывности решений. Корректность задач в математической физике требует соблюдения условий:

- Уравнения переноса — начальные и граничные условия.
- Параболические уравнения — теплопередача, диффузия.
- Гиперболические уравнения — колебания, распространение волн.
- Эллиптические уравнения — стационарные распределения температуры или поля.

Численные подходы используют дискретизацию операторов и интегральные преобразования для упрощения анализа и расчётов. Это ключевой инструмент для моделирования сложных систем, что делает математическую физику незаменимой в исследовании и инженерии.

Для этого существуют различные классы интегральных уравнений. Однако прежде, чем мы их рассмотрим, для начала нужно рассказать про само понятие «интегральные уравнения». Обычно под этим термином понимают уравнения, в которых неизвестная функция независимого (скалярного или векторного) аргумента встречается под знаком интеграла. Из них различают линейные и нелинейные интегральные уравнения, исходя из того зависит ли уравнение от неизвестной функции линейным или нелинейным образом. Многие линейные интегральные уравнения (в "одномерном" случае) могут быть записаны в виде уравнения Вольтерры либо же уравнением Фредгольма. А наиболее распространенными представителями нелинейных интегральных уравнений являются уравнения Урысона и уравнения Гаммерштейна. Помимо этого уравнения бывают I и II рода. Прежде, чем объяснить, что такое уравнения I и II рода и какая между ним разница, введем понятие корректности уравнения. Если говорить совсем кратко, то говорят, что уравнение x = I·x + f или 0 = I·x + f корректно, если при любых f оно однозначно разрешимо и решение x непрерывно зависит от f. При этом уравнения I рода представляют собой существенно более сложный объект исследования. Уравнениями II рода называют уравнения вида:

$$x(t) - \int_a^b K(t,s)x(s)ds = f(t), t \in [a,b]. \quad (7)$$

А в свою очередь уравнения I рода выглядят подобным образом:

$$\int_a^b K(t,s)x(s)ds = f(t)\,, t \in [a,b]. \quad (8)$$

Выделим еще два класса линейных интегральных уравнений, часто встречающихся в математическом обиходе. Первый из них состоит из так называемых интегральных уравнений с вырожденным ядром. К ним относят уравнения, ядро которых представимо в виде:

$$K(t,s) = \sum_{i=1}^{n} \xi i(t)\eta i(s). \quad (9)$$

А уравнение Вольтерры типа свертки выделяется специальным видом ядра

K (t, s) = k(t – s): $x(t) = \int_0^t k(t-s)x(s)ds + f(t)$ [1]. (10)

Многие задачи математической физики приводят к линейным интегральным уравнениям. Рассмотрим некоторые примеры.

1. Если внешнее воздействие на какую-либо линейную систему описывается функцией f(x) (a ≤ x ≤ b), то результат этого воздействия описывается функцией

$$f€ (x) = \int_a^b G(x;\xi) f(\xi) d\xi, \quad (11)$$

где G(x; ξ) — функция влияния, определяемая рассматриваемой системой.

2. Бывают случаи, когда известной оказывается некоторая линейная комбинация

$$\varphi(x) = \alpha f(x) + \beta f€ (x) \quad (12)$$

функций описывающих внешнее воздействие и соответствующий отклик. Тогда для восстановления внешнего воздействия потребуется решить интегральное уравнение

$$\alpha f(x) + \beta \int_a^b G(x;\xi) f(\xi) d\xi = \varphi(x). \quad (13)$$

Это линейное интегральное уравнение Фредгольма второго рода с искомой функцией f(x).

Можно выделить несколько основных методов решения интегральных уравнений [3]:

1. Метод моментов. В методе моментов приближенное решение интегрального уравнения ищется в виде суммы f(x) и линейной комбинации заранее выбранных линейно независимых между собой функций φ1(x), φ2(x), ..., φn(x).

2. Метод квадратур (Нюстрёма). В математике численный анализ методом Нюстрома (методом квадратур) позволяет найти численное решение интегрального уравнения путём замены интеграла представительной взвешенной суммой. Непрерывная задача разбивается на n дискретные интервалы; квадратура или численное интегрирование определяет веса и расположение представительных точек для интеграла.

3. Метод проекций (Галёркина, Коллокация).

- Метод Галёркина — метод приближённого решения краевой задачи для дифференциального уравнения L[u] = f(x). Здесь оператор L[u] может содержать частные или полные производные искомой функции.
- Метод коллокации — это метод численного решения обыкновенных дифференциальных уравнений, дифференциальных уравнений в частных производных и интегральных уравнений. Идея состоит в том, чтобы выбрать конечномерное пространство возможных решений (обычно полиномы до определённой степени) и несколько точек в области (точки коллокации) и выбрать то решение, которое удовлетворяет заданному уравнению в точках коллокации.

Исходя из всего вышеперечисленного, можем сделать вывод, что многие задачи в нынешнее время можно либо полностью, либо частично преобразовать в интегральную форму, причем даже нелинейные и многомерные, что открывает дополнительные пути для анализа и численного решения, которые применимы во многих разных областях физики и инженерии. Данный подход не только помогает в теоретическом понимании проблемы, но и значительно облегчает практические вычисления при моделировании физических процессов, при этом делая расчёты более точными. Все рассмотренные прежде методы эффективны в решении определенных задач, поэтому важно правильно подобрать свой собственный, подходящий под данные условия, в зависимости от типа уравнения и корректности самого поставленного задания. Численные методы лежат в основе моделирования многообразных процессов таких, как теплопередачи, волновых процессов и другие.

Подводя итог, можно сказать, что в последствии данные интегральные уравнения, численные методы используются и применяются в качестве ключевого инструмента для работы со сложными физическими и математическими моделями, что обеспечивает точность, устойчивость, а также вычислительную эффективность.

Список использованных источников:

1. Тумаков Д. Н., Стехина К. Н. Дифференциальные и интегральные уравнения. Численные методы решения: Учебно-методическое пособие. – Казань, 2014. – 35 с.

2. MathHelpPlanet – [Электронный ресурс]. – URL: https://mathhelpplanet.com/static.php?p=chislennye-metody-resheniya-uravnenij-matematicheskoj-fiziki-s-dvumya-peremennymi (Дата обращения: 26.03.2025).

3. Зуева Г. А. Методы математической физики. Интегральные уравнения: Методические указания. – Иваново: Иван. гос. хим.-технол. ун-т, 2006. – 32 с.

UDC 004.932.4

MODELING PHYSICAL PROCESSES BY SOLVING INTEGRAL EQUATIONS

Adamovich K.V., Krivaschokaja A.D., Schurko A.A.[1]

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics[1]*, Minsk, Republic of Belarus*

Chayeuski V.V. – PhD, Associate Professor of the Department of Physics

Annotation. The article examines numerical methods for modeling physical processes based on differential and integral equations. Their classifications, various solution techniques, and key aspects—such as operator discretization and integral transforms to simplify analysis and computations—are also discussed. The efficiency of their application and use in modeling physical processes is analyzed.

Keywords. Mathematical modeling, differential equations, mathematical physics, integral equations, numerical methods.

ВОЛНОВОЕ УРАВНЕНИЕ ДИРАКА

Волынец М.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Иванов М.А. – канд. физ.-мат. наук, доцент

В работе рассмотрено волновое уравнение Дирака, которое объединяет квантовую механику и специальную теорию относительности. Описаны его математическая структура с матрицами 4×4, алгебраическая процедура линеаризации, а также объяснение наличия спина у электрона, предсказание позитрона. Это уравнение сыграло ключевую роль в развитии квантовой теории поля и физики конденсированного состояния.

В конце 1920-х годов физика столкнулась с парадоксом: эксперименты с электронами в магнитных полях выявляли аномалии, такие как расщепление спектральных линий, необъяснимые в рамках уравнения Шрёдингера. Вольфганг Паули ввёл концепцию спина — внутреннего момента импульса электрона, — но его модель оставалась нерелятивистской. Прорыв совершил Поль Дирак в 1928 году, предложив уравнение, объединившее квантовую механику и специальную теорию относительности, из которого следовало существование спина электрона. Неожиданным следствием стали античастицы — предсказание, подтверждённое открытием позитрона в 1932 году.

Пусть $H = \frac{\overline{p}^2}{2m}$ — гамильтониан для свободной частицы. Тогда замена $E \to i\hbar\frac{\partial}{\partial t}, \overline{p} \to -i\hbar\overline{\nabla}$ даёт нам уравнение Шрёдингера, если $\hat{E}\Psi = \hat{H}\Psi$ - базовое волновое уравнение [1]. В релятивистском случае: $H^2 = \overline{p}^2c^2 + m^2c^4$, т.е. это уравнение нелинейно. Если записать:

$$H = \sqrt{p^2c^2 + m^2c^4}, \tag{1}$$

то очевидна асимметрия - слева H в первой степени, а справа импульс входит в нелинейное выражение. В релятивистской механике энергия и импульс являются компонентами одного вектора, поэтому и в релятивистское волновое уравнение они и их операторы должны входить симметричным образом. Чтобы достичь этой симметрии, Дирак применил чисто алгебраическую процедуру линеаризации уравнения (1). Поясним ее на примере [2] линеаризации уравнения:

$$X_1{}^2 + X_2{}^2 = y^2, \tag{1'}$$

Введём матрицы $A_1 = \begin{pmatrix}1, & 0,\\ 0, & -1\end{pmatrix}$, $A_2 = \begin{pmatrix}0, & 1\\ 1, & 0\end{pmatrix}$ и некоторые новые переменные Ψ_1 и Ψ_2, которые запишем как матрицу-столбец $\Psi \equiv \begin{pmatrix}\Psi_1\\ \Psi_2\end{pmatrix}$. Составим новое линейное относительно X_1 и X_2 уравнение:

$$A_1X_1\Psi + A_2X_2\Psi = Ey\Psi, \tag{2}$$

где $E = \begin{pmatrix}1, & 0\\ 0, & 1\end{pmatrix}$ — единичная матрица 2x2, нашему нелинейному уравнению (1'). Так как $A_1A_2 + A_2A_1 = 0$, то умножение слева на $A_1X_1 + A_2X_2$ в уравнении (2) даёт:

$$\left(X_1{}^2 + X_2{}^2\right)\Psi = y^2\Psi, \tag{3}$$

т.к.$A_1{}^2 + A_2{}^2 = E$. Мы видим, что уравнение (1') всегда имеет место, если выполняется уравнение (2).

Для релятивистского случая с четырьмя слагаемыми: $H^2 = (P_1^2 + P_2^2 + P_3^2) + m^2c^4$ Дирак ввёл 4x4 матрицы γ^μ, удовлетворяющие условиям: $\{\gamma^\mu, \gamma^\nu\} = 2g^{\mu\nu}I_4$, $g^{\mu\nu} = diag(1, -1, -1, -1)$, где антикоммутатор {A, B} = AB + BA. В стандартном представлении:

$$\gamma_0 = \begin{pmatrix}E_2, & 0,\\ 0, & -E_2\end{pmatrix}, \gamma_i = \begin{pmatrix}0, & \sigma_{i,}\\ -\sigma_{i,} & 0\end{pmatrix},$$ где $E_2 \equiv \begin{pmatrix}1, & 0,\\ 0, & 1\end{pmatrix} \equiv \sigma_0$, $\sigma_1 = \begin{pmatrix}0, & 1,\\ 1, & 0\end{pmatrix}$, $\sigma_2 = \begin{pmatrix}0, & -i,\\ i, & 0\end{pmatrix}$, $\sigma_3 = \begin{pmatrix}1, & 0,\\ 0, & -1\end{pmatrix}$.

Матрицы σ_i, i = 1,2,3, называют матрицами Паули. Мы использовали две из них при линеаризации уравнения (1').

Окончательная форма уравнения Дирака для свободной частицы:

$$\gamma_\mu\hat{p^\mu}\Psi = mc\Psi, \tag{4}$$

где Ψ — четырёхкомпонентный спинор. Последний шаг в конструировании великого уравнения – это введение взаимодействия электрона с зарядом $-e$ с электромагнитным полем минимальной заменой:
$\hat{p}^{\mu} \to \hat{p}^{\mu} - eA^{\mu}$,
где A^{μ} – 4-потенциал электромагнитного поля.

Уравнение Дирака не только решило проблему релятивистского описания электрона, но и стало мощным инструментом в теоретической физике. Его математическая структура, включая матрицы Дирака и спинорные решения, продолжает находить новые приложения — от квантовой теории поля до физики конденсированного состояния. Это уравнение остаётся одним из самых глубоких и плодотворных результатов теоретической физики XX века.

Список использованных источников:

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика: учебное пособие. 4-е изд., испр. Москва: Наука, 1989. С. 70.
2. M.A. Ivanov. Rend. Sem. Mat. Univ. Pol. Torino. Vol. 54, № 1, 1996. С. 25–33.

УДК 539.122-022.532

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ В НАНОФОТОНИКЕ

Капельян С.В.[1], Решетник П.В.[1], студенты гр.418703

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроник[и]
г. Минск, Республика Беларусь

Дорошевич И.Л. – канд. физ.-мат. наук, доцент

Аннотация. Нанофотоника изучает взаимодействие света с наноразмерными материалами, такими как графен, гексагональный нитрид бора (hBN) и точилинит, обладающими уникальными оптическими и тепловыми свойствами. Эти материалы используются для создания нанометровых волноводов, метаповерхностей, сенсоров и оптоэлектронных устройств. Они открывают новые возможности в медицине, информационных технологиях и энергетике. Современные исследования направлены на преодоление проблем, таких как сложность производства и интеграция с кремниевыми технологиями. Инновационные проекты способствуют развитию нанофотоники, предоставляя решения для создания высокоэффективных и компактных устройств будущего.

Ключевые слова. Нанофотоника, графен, гексагональный нитрид бора, точилинит.

Нанофотоника – это наука и технология, изучающая взаимодействие света с наноразмерными материалами и структурами. Она включает создание новых оптических устройств и систем для приложений в области информационных технологий, медицины и других. Основное внимание уделяется использованию инновационных материалов, таких как графен и перовскиты, для достижения уникальных оптических свойств и высокой эффективности устройств.

Нанофотоника активно развивается, и за последние годы было открыто множество наноматериалов. Однако в этой работе внимание уделено лишь трём ключевым материалам, которые стали известны за последние 7 лет:

1) Графен (открыт в 2004 году, но начал применяться в нанофотонике с 2020 года)

Графен представляет собой двумерную структуру, состоящую из одного слоя углеродных атомов, расположенных в виде гексагональной решетки.

Свойства:

1. Высокая проводимость: Графен обладает высокой электрической проводимостью (около 200,000 см²/(В·с) при комнатной температуре)
2. Оптическая прозрачность: Графен прозрачен в широком диапазоне длин волн (пропускает около 97,7% света)
3. Механическая прочность: Графен является одним из самых прочных материалов
4. Теплопроводность: Графен обладает высокой теплопроводностью (около 3000-5000 Вт/(м·К))
5. Анизотропия: Графен обладает оптической анизотропией

Применение:

1. Нанометровые волноводы: Графеновые волноводы способны обеспечить высокую скорость передачи данных в интегральных оптических системах, улучшая производительность и миниатюризацию оптических устройств.
2. Оптические переключатели: Благодаря быстродействию и энергоэффективности графена, оптические переключатели на его основе могут использоваться в высокоскоростных телекоммуникационных сетях и квантовых компьютерах.
3. Метаповерхности: Графеновые метаповерхности позволяют создавать плоские линзы, адаптивные оптические элементы и устройства для управления светом в наноразмерном масштабе. Это может привести к развитию новых типов камер, проекторов и других оптических устройств.
4. Плазмонные резонаторы: Использование графена в плазмонных резонаторах позволяет улучшить эффективность преобразования и усиления световых сигналов, что открывает возможности для развития высокочувствительных сенсоров и устройств обработки данных.
5. Датчики: Графеновые наноструктуры могут быть применены в биосенсорах для обнаружения малых концентраций биомолекул, что имеет значительный потенциал для медицины и биотехнологии.

2) Гексагональный нитрид бора (впервые был синтезирован 1840-х годах, но начал применяться в нанофотонике в 2017-2018 годах, так как был нестабилен)

Гексагональный нитрид бора (hBN) представляет собой двумерный материал, состоящий из слоев атомов бора и азота, расположенных в виде гексагональной решетки. Этот материал обладает высокой химической стабильностью и теплопроводностью, что делает его идеальным для использования в нанофотонике.

Свойства:

1. Высокая теплопроводность: hBN обладает высокой теплопроводностью (400 Вт/(м·К))
2. Оптическая прозрачность: hBN прозрачен в широком диапазоне длин волн, включая ультрафиолетовый и видимый спектры.

3. Химическая стабильность: Этот материал устойчив к воздействию агрессивных химических сред, что делает его долговечным и надежным.

4. Анизотропия: hBN обладает оптической анизотропией

5. Электрическая изоляция: hBN является отличным электрическим изолятором

Применение:

1. Нанометровые волноводы: hBN позволяет создавать волноводы с наноразмерами, что способствует улучшению компактности и эффективности интегральных оптических устройств. Это может привести к развитию более мощных и миниатюрных фотонных интегральных схем.

2. Метаповерхности: hBN-метаповерхности способны управлять распространением света с высокой точностью, что открывает возможности для создания новых типов оптических приборов, таких как сверхтонкие линзы, голографические устройства и оптические датчики.

3. Оптические переключатели: hBN может использоваться для создания высокоскоростных и энергоэффективных оптических переключателей, что имеет перспективы в сфере телекоммуникаций и сетей передачи данных, включая квантовые коммуникации.

4. Термическое управление: Термическое управление: Высокая теплопроводность hBN позволяет эффективно рассеивать тепло в нанофотонных устройствах, что улучшает их надежность и долговечность. Это важно для создания высокопроизводительных оптических устройств, работающих в условиях высоких температур.

5. Изоляционные слои: hBN используется в качестве электрического изолятора в оптоэлектронных устройствах, что предотвращает короткие замыкания и улучшает работу устройств. Это открывает возможности для создания более надежных и долговечных электронных и оптоэлектронных устройств.

3) Точилинит (впервые найден в 1966 году, в нанофотонике с 2023 года)

Точилинит — это природный минерал, состоящий из чередующихся слоев сульфида железа и гидроксида магния. В последние годы ученые активно исследуют его применение в нанофотонике и других областях благодаря его уникальным свойствам.

Свойства точилинита:

1. Периодическая структура: Точилинит имеет слоистую структуру

2. Электронные свойства: Сульфидные слои точилинита определяют его электронные свойства, которые можно регулировать, изменяя состав гидроксидной части.

3. Оптические свойства: Точилинит обладает уникальными оптическими свойствами

4. Магнитные свойства: Магнитные свойства точилинита также определяются сульфидными слоями и могут быть изменены путем добавления различных элементов в гидроксидные слои.

Применение:

1. Оптоэлектроника: Благодаря своим уникальным оптическим и электронным свойствам, точилинит открывает перспективы создания высокоэффективных светодиодов, лазеров и других оптоэлектронных устройств. Это может улучшить энергоэффективность и производительность этих технологий, а также расширить их область применения.

2. Сенсоры: Высокая чувствительность точилинита позволяет разрабатывать сенсоры, способные обнаруживать изменения в окружающей среде с высокой точностью. Это может найти применение в различных областях, включая медицинскую диагностику, мониторинг окружающей среды и контроль качества продукции.

3. Наноантенны: Точилинит предоставляет возможность создания наноантенн, которые могут управлять светом на нанометровом уровне. Это открывает перспективы разработки новых фотонных устройств, таких как высокоэффективные солнечные элементы, нанолазеры и другие нанофотонные технологии.

4. Электроды: Точилинит может использоваться для создания электродов в электрохимических устройствах, таких как литиевые и магниевые источники тока. Его уникальные свойства позволяют создавать более долговечные и эффективные электроды, что улучшает производительность аккумуляторов и других энергонакопительных устройств.

5. Метаповерхности: Точилинитовые метаповерхности способны управлять светом с высокой точностью, что позволяет создавать новые оптические эффекты и устройства. Это может привести к развитию новых типов фотонных интегральных схем, оптических датчиков и других оптических технологий.

Проблемы и решения, которые связаны с новыми материалами в нанофотонике:

1) Проблемы:

1. Совместимость с существующими технологиями: Многие новые материалы не совместимы с кремниевыми технологиями, что затрудняет их интеграцию в существующие оптические и электронные системы.

2. Производственные сложности: Создание наноструктурированных материалов требует сложных и дорогостоящих технологий, таких как молекулярно-лучевая эпитаксия и электронно-лучевая литография.

3. Стабильность и долговечность: Некоторые новые материалы могут быть нестабильными или иметь ограниченный срок службы, что ограничивает их практическое применение.

4. Оптические потери: В некоторых материалах возникают значительные оптические потери, что снижает эффективность устройств нанофотоники.

2) Решения:

1. Инновационные производственные методы: Использование передовых технологий, таких как молекулярно-лучевая эпитаксия и электронно-лучевая литография, позволяет создавать высококачественные наноструктуры.

2. Улучшение стабильности материалов: Исследования направлены на повышение стабильности и долговечности новых материалов, что делает их более пригодными для практического применения.

3. Снижение оптических потерь: Разработка новых методов и технологий, таких как фотонные кристаллы, помогает снизить оптические потери и повысить эффективность устройств нанофотоники.

Текущие проекты в нанофотонике:

1. Проект МФТИ и Университета Менуфия: Международная команда исследователей из МФТИ и Университета Менуфия (Египет) занимается разработкой новой элементной базы для фотонных интегральных схем с использованием ван-дер-ваальсовых материалов. Эти новые подходы обещают улучшить оптические свойства и функциональность устройств нанофотоники.

2. Исследования в области двумерных материалов: Проект «Новые двумерные и ван-дер-ваальсовые материалы: свойства и перспективные применения» охватывает направления, такие как материаловедение, инженерия, технологии изготовления и перенос наноразмерных образцов. Основная цель проекта - создание новой элементной базы для нанофотоники, включая многофункциональные метаповерхности, наноразмерные волноводы и резонансные структуры.

3. Междисциплинарные исследования: Нанофотоника – это активно развивающаяся область современной физики и технологий, где оптика соединяется с физикой наноструктур и нанотехнологиями. Исследования сосредоточены на создании новых оптических материалов, элементов лазерных технологий, биомаркеров и биочипов.

Заключение:

Нанофотоника - перспективная область, развивающаяся благодаря инновационным материалам, таким как графен, гексагональный нитрид бора и точилинит. Эти материалы обладают уникальными оптическими и тепловыми свойствами, что позволяет создавать высокоэффективные и миниатюрные оптические устройства для информационных технологий, медицины и других областей.

Исследования и разработки в нанофотонике продолжаются, направленные на преодоление технических и производственных вызовов, таких как совместимость с существующими технологиями и стабильность материалов. Современные проекты и междисциплинарные исследования способствуют прогрессу в этой области, открывая новые возможности для улучшения качества жизни и технологических прорывов.

Список использованных источников:

*1. *Photonics Europe Conference*. Материалы конференции о нанофотонике и оптических технологиях. – Страсбург: SPIE, 2024. – 450 с. 3. Гасумов Ю. П. Материалы для оптоэлектроники : учебное пособие / Ю. П. Гасумов. – М. : Издательство "Наука",, 2018. – 320 с.*

2. Нанофотоника [Электронный ресурс] / TAdviser. – URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Нанофотоника?citationMarker=43dcd9a7-70db-4a1f-b0ae-981daa162054.

3. Найден мостик перехода от электроники к фотонике [Электронный ресурс] / За науку. МФТИ. – URL: https://zanauku.mipt.ru/2023/06/06/najden-mostik-perehoda-ot-elektroniki-k-fotonike/?citationMarker=43dcd9a7-70db-4a1f-b0ae-981daa162054.

4. Разработаны новые синтетические многофункциональные двумерные материалы в виде наночастиц точилинита [Электронный ресурс] / Научная Россия. – URL: https://scientificrussia.ru/articles/razrabotany-novye-sinteticeskie-mnogofunkcionalnye-dvumernye-materialy-v-vide-nanocesuek-tocilinita?citationMarker=43dcd9a7-70db-4a1f-b0ae-981daa162054.

UDC 539.122-022.532

NEW MATERIALS IN NANOPHOTONICS

Kapelyan S.V.[1] , Reshetnik P.V.[1], students gr. 418703

"Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics[1]"
Minsk, Republic of Belarus

Doroshevich I.L. – PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor

Annotation. Nanophotonics studies the interaction of light with nanoscale materials such as graphene, hexagonal boron nitride (hBN), and grindstone, which have unique optical and thermal properties. These materials are used to create nanometer waveguides, metasurfaces, sensors, and optoelectronic devices. They open up new opportunities in medicine, information technology, and energy. Modern research is aimed at overcoming challenges such as manufacturing complexity and integration with silicon technologies. Innovative projects contribute to the development of nanophotonics by providing solutions for the creation of highly efficient and compact devices of the future.

Keywords. Nanophotonics, graphene, hexagonal boron nitride, sharpener.

КВАНТОВАЯ ГРАВИТАЦИЯ

Ващилко Е.С., студентка гр.418302 Дингилевская А.А., студентка гр.418301

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Чаевский В.В. - кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики

Аннотация. В данной работе исследуются ключевые элементы квантовой гравитации: гипотетический гравитон, чёрные дыры с их сингулярностями и квантовая пена. Анализируются экспериментальные данные (LIGO, БАК) и теоретические модели (петлевая квантовая гравитация, теория струн), подтверждающие эти концепции. Цель — показать перспективы создания единой теории, объединяющей гравитацию и квантовые законы.

Квантовой гравитацией называется раздел в теоретической физике, который объединяет сразу две теории: общую теорию относительности Эйнштейна (ОТО) и квантовую механику. ОТО представлена как классическая теория гравитации, описывающая её как искривление пространства-времени под действием массы и энергии. В свою очередь основополагающий принцип квантовой механики заключается в том, что энергия и материя существуют в виде дискретных единиц (квантов), обладающих волно-частичным дуализмом, примером чего служит фотон. Следствием этого является представление о том, что фундаментальные взаимодействия опосредованы квантами-переносчиками. Для трех негравитационных сил наличие таких переносчиков и подчинение законам квантовой механики установлено. Гравитация же описывается классической общей теорией относительности, что потребовало введения гипотетического кванта гравитационного поля — гравитона — для ее потенциального включения в квантовую картину мира. Ключевые проблемы квантовой гравитации включают изучение чёрных дыр и их сингулярностей, где бесконечные величины в ОТО требуют квантовой коррекции, а также концепцию квантовой пены — хаотической микроструктуры пространства-времени на планковских масштабах, где рождаются и исчезают виртуальные чёрные дыры и червоточины. Эти объекты и явления становятся «полигоном» для проверки гипотез, объединяющих гравитацию и квантовые законы.

Гравитон — гипотетическая элементарная частица, предложенная как квантовый переносчик гравитационного взаимодействия. Идея квантового переносчика гравитации возникла в 1930-х годах при попытках объединить гравитацию с квантовой теорией поля. Термин «гравитон» впервые был использован в 1934 году советскими физиками Д. Блохинцевым и Ф. Гальпериным в работе по квантованию гравитационных волн. Согласно теориям, это безмассовый бозон со спином 2, движущийся со скоростью света, который должен обеспечивать передачу гравитационных сил аналогично тому, как фотоны переносят электромагнетизм. Его существование стало ключевой идеей в попытках объединить ОТО с квантовой механикой. Современные исследования гравитона фокусируются на косвенных подтверждениях: например, обнаружение гравитационных волн обсерваторией LIGO в 2015 году интерпретируется как макроскопическое проявление коллективных эффектов, которые на квантовом уровне могли бы описываться гравитонами [1]. Другое направление — эксперименты с конденсированными средами, где в 2024 году учёные обнаружили коллективные возбуждения со спином 2 («киральные гравитонные моды»), имитирующие свойства гравитонов в лабораторных условиях. Теории с дополнительными измерениями, такие как М-теория, предсказывают, что гравитоны могут «утекать» в скрытые пространственные измерения, что пытаются проверить на Большом адронном коллайдере, анализируя потери энергии в столкновениях частиц [2]. Астрофизики исследуют реликтовые гравитоны, которые могли образоваться в ранней Вселенной, а наблюдения за гравитационным линзированием и движением галактик устанавливают верхние пределы массы гравитона, подтверждая его безмассовость. Несмотря на прогресс, прямое обнаружение гравитона остаётся недостижимым из-за исключительной слабости гравитационного взаимодействия, однако развитие технологий в астрофизике и квантовой физике открывает пути для новых косвенных тестов, которые могут приблизить создание единой теории фундаментальных взаимодействий.

Черная дыра – это область пространства-времени, гравитационное притяжение которой настолько велико, что вторая космическая скорость (скорость, которая нужна для того, чтобы преодолеть гравитацию) превышает скорость света. Концепция объектов с гравитацией, удерживающей свет, появилась ещё в XVIII веке (работы Дж. Мичелла и П. Лапласа), но математическое описание черных дыр стало возможным только после ОТО Эйнштейна. Термин «чёрная дыра» популяризовал Дж. Уилер в 1967 году, хотя само решение Шварцшильда для невращающейся чёрной дыры было найдено ещё в 1916 году. Современное понимание черных дыр основывается на ОТО Эйнштейна. Она гласит, что при достаточном сжатии вещества его гравитация может стать настолько сильной, что создает область

пространства, ограниченную горизонтом событий, из которой невозможно вырваться. Наиболее известный механизм образования черных дыр – это гравитационный коллапс массивных звезд (обычно в десятки раз массивнее Солнца) в конце их жизненного цикла. Когда у звезды заканчивается ядерное топливо, внутреннее давление больше не может противостоять силе гравитации, и звезда катастрофически сжимается под собственным весом. Если масса оставшегося ядра слишком большая, то коллапс становится неудержимым и образуется черная дыра. Однако ОТО – это теория гравитации макромира, в которой не учитываются эффекты квантовой механики, которые должны быть существенны на малых масштабах и при высоких энергиях, характерных для центра черной дыры. Классическое описание черных дыр наталкивается на фундаментальные проблемы при попытке учесть квантовые эффекты. Такая попытка приводит нас к концепции квантовых черных дыр (мини-черных дыр), которые могут иметь массу от планковской (~10^{-8} кг) до уровня астероидов и существовать только доли секунды из-за испарения Хокинга.

Сингулярность – это, пожалуй, самая проблемная особенность классических черных дыр. Проблема сингулярностей в ОТО была осознана в 1930-х годах, когда Д. Оппенгеймер и Х. Снайдер описали гравитационный коллапс звезды. Однако ключевой прорыв произошёл в 1965 году, когда Р. Пенроуз доказал теорему о неизбежности сингулярностей в чёрных дырах при выполнении условий энергодоминирования. В рамках ОТО, сингулярность – это не просто точка с огромной плотностью, а область, где само пространство-время "ломается". Геодезические линии – это пути, по которым движутся свободно свет и падающие частицы. Данные линии обрываются, кривизна пространства-времени становится бесконечной, а физические законы в их нормальном виде перестают работать. В свою очередь квантовая гравитация предлагает альтернативы: например, в петлевой квантовой гравитации сингулярность заменяется своеобразным "отскоком", а в теории струн — гладкими "структурами", в которых идёт сохранение информации. Для простейшей невращающейся и незаряженной черной дыры сингулярность представляет собой точку. Для вращающейся черной дыры сингулярность имеет форму кольца.

Квантовые (мини) черные дыры теоретически могли образоваться в экстремальных условиях ранней Вселенной или в столкновениях частиц при энергиях ~10^{19} ГэВ. Гипотеза мини-чёрных дыр возникла в 1970-х годах благодаря работам С. Хокинга, предсказавшего их квантовое испарение. Позже, в 2000-х годах, теория струн и модели с дополнительными измерениями (например, «бранная космология») возродили интерес к их поиску в экспериментах на коллайдерах. Благодаря их изучению можно протестировать многомерные модели и решить информационный парадокс.

Квантовая пена — гипотетическая структура пространства-времени на планковских масштабах (10^{-35} м), предложенная Джоном Уилером в 1955 году. Она возникает из-за квантовых флуктуаций и принципа неопределённости Гейзенберга, создавая хаотичную сеть микроскопических чёрных дыр, червоточин и топологических дефектов. Эта концепция пытается объединить квантовую механику с общей теорией относительности, объясняя, как пространство-время теряет гладкость на экстремально малых расстояниях. Современные исследования фокусируются на косвенных методах изучения пены: например, гравитационные обсерватории LIGO и VIRGO ищут искажения в гравитационных волнах, а астрофизики анализируют задержки света от далёких объектов с помощью телескопов MAGIC и Fermi [3]. Теория струн и петлевая квантовая гравитация предлагают разные интерпретации пены — от динамики многомерных бран до дискретных спиновых сетей. Учёные также связывают квантовую пену с загадкой космологической постоянной, предполагая, что флуктуации энергии вакуума на микроуровне компенсируются в макромасштабах. Несмотря на отсутствие прямых подтверждений, будущие проекты, такие как космический интерферометр LISA или квантовые сенсоры, могут приблизить нас к проверке этой гипотезы, открыв путь к пониманию сингулярностей и объединению фундаментальных взаимодействий [4].

Таким образом, изучение гравитона, сингулярностей и квантовой пены демонстрирует, как квантовая гравитация преодолевает ограничения классической ОТО, предлагая новые подходы к описанию пространства-времени и фундаментальных взаимодействий.

Список использованных источников:

1. Гравитационные волны – Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Гравитационные_волны. – Дата доступа: 01.04.2025.

2. Открытие «частицы, похожей на гравитон» — что это значит? Объясняет Алексей Семихатов // Рамблер [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://news.rambler.ru/tech/52524392-otkrytie-chastitsy-pohozhey-na-graviton-chto-eto-znachit-obyasnyaet-aleksey-semihatov/. – Дата доступа: 01.04.2025.

3. Детектор гравитационных волн LIGO возобновил работу после 3 лет модернизации // Habr [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://habr.com/ru/articles/744354/. – Дата доступа: 01.04.2025.

4. Laser Interferometer Space Antenna – Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Laser_Interferometer_Space_Antenna. – Дата доступа: 01.04.2025.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТИТАНОВЫХ НАНОТРУБОК ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В МЕДИЦИНСКИХ ИМПЛАНТАТАХ

Иванов П. И.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Иванов М. А. – канд. физ.-мат. наук

Исследованы три модели титановых нанотрубок с различной структурой. Проведены испытания на прочность и удлинение. Первая модель показала наилучшую пластичность (55,58 %), вторая — умеренные характеристики, а третья — наименьшую прочность (4,67 МПа). Результаты демонстрируют влияние структуры на механические свойства, что важно для разработки медицинских имплантатов.

Титановые нанотрубки представляют собой перспективный материал для медицинских имплантатов благодаря их уникальной структуре, высокой механической прочности и биосовместимости. Цель данного исследования — изучить свойства и строение титановых нанотрубок, а также оценить их потенциал для применения в медицине. В рамках работы были созданы модели нанотрубок с различными параметрами, проведены испытания на разлом и анализ их механических характеристик. Результаты исследования позволят определить оптимальные параметры нанотрубок для разработки имплантатов с улучшенной остеоинтеграцией и долговечностью, что особенно актуально в условиях растущих требований к качеству медицинских материалов.

Строение и свойства титановых нанотрубок

Титановые нанотрубки представляют собой упорядоченные полые цилиндрические структуры с диаметром от нескольких до сотен нанометров, формирующиеся в процессе анодного окисления титана в электролитах на основе фторидов [1]. Образование трубок обусловлено конкуренцией процессов электрохимического окисления и локального растворения оксидного слоя под действием фторид-ионов.

Эти наноструктуры обладают высокой удельной поверхностью и пористостью, что обеспечивает их превосходные функциональные свойства. Кристаллическая структура нанотрубок может регулироваться от аморфной до кристаллических фаз (анатаз, рутил) посредством термической обработки, что существенно улучшает их механическую прочность и коррозионную стойкость [3].

Механические свойства титановых нанотрубок превосходят компактный титан благодаря их уникальной наноструктуре, эффективно распределяющей механические нагрузки [4]. Важнейшим преимуществом является их исключительная биосовместимость: они не вызывают токсических реакций и способствуют адгезии и пролиферации клеток, что критически важно для медицинских имплантатов [5].

Структуру поверхности можно модифицировать, изменяя параметры анодирования (напряжение, состав электролита) или применяя последующую термическую обработку. Функционализация поверхности (например, нанесение гидроксиапатита или антибактериальных агентов) расширяет возможности их применения в медицине, включая ортопедические и стоматологические имплантаты [6].

3. Экспериментальная часть: создание и сравнение моделей титановых нанотрубок

В рамках данного исследования в лаборатории БГУ были созданы три пластиковые модели титановых нанотрубок с различными структурными характеристиками для изучения их механических свойств, таких как предел прочности и максимальное удлинение. Все модели представляли собой цилиндры со сквозным отверстием, радиусом 6 мм и длиной 80 мм. Основные различия между моделями заключались в их внутренней структуре и ориентации слоев, что позволило провести сравнительный анализ их механического поведения. Печать моделей проходила на 3д принтере ORIGINAL PRUSA i3 MK2. Исследования проходили на разрыв-машине Testometric M350-10CT DBB TCL-1000 kg.

Модель 1, приведенная на рисунке 1а. была выполнена в виде цилиндра со сквозным отверстием и шестигранными отверстиями. Структура модели была ахиральной, с типом укладки слоев, известным как "кресло" (chair-type). Количество слоев составило один. Испытания на разлом показали, что данная модель обладает пределом прочности 6 МПа и максимальным удлинением 55,58 %. Высокое значение удлинения свидетельствует о значительной пластичности материала, что может быть полезным для имплантатов, подвергающихся циклическим нагрузкам. Однако относительно низкий предел прочности указывает на необходимость оптимизации структуры для повышения механической устойчивости.

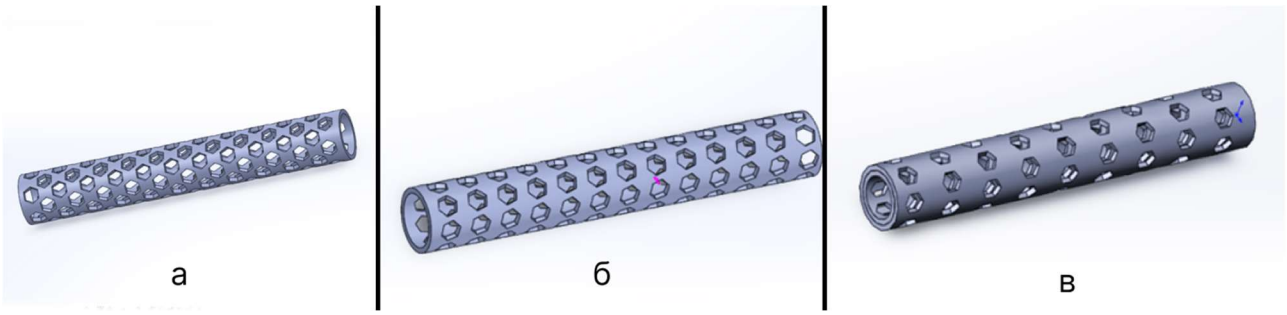


Рисунок 1. Пластиковые модели нанотрубок

Модель 2 (рисунок 1б) также представляла собой цилиндр со сквозным отверстием и шестигранными отверстиями, но с ахиральной структурой типа "зигзаг" (zigzag-type). Количество слоев осталось равным одному. Результаты испытаний показали, что предел прочности этой модели составил 5,1 МПа, а максимальное удлинение — 22,3 %. По сравнению с первой моделью, прочность снизилась, а удлинение уменьшилось более чем в два раза.

Модель 3 (рисунок 1в) отличалась от предыдущей хиральной структурой с углом к оси 15°. Количество слоев также составило один. Предел прочности этой модели оказался наименьшим — 4,67 МПа, а максимальное удлинение составило 28,52 %. Хиральная структура, несмотря на свою сложность и потенциальные преимущества в распределении нагрузок, показала худшие механические характеристики по сравнению с ахиральными моделями.

Графики зависимостей нормального напряжения σ от относительной деформации ε для трёх пластиковых моделей приведены на Рис. 2.

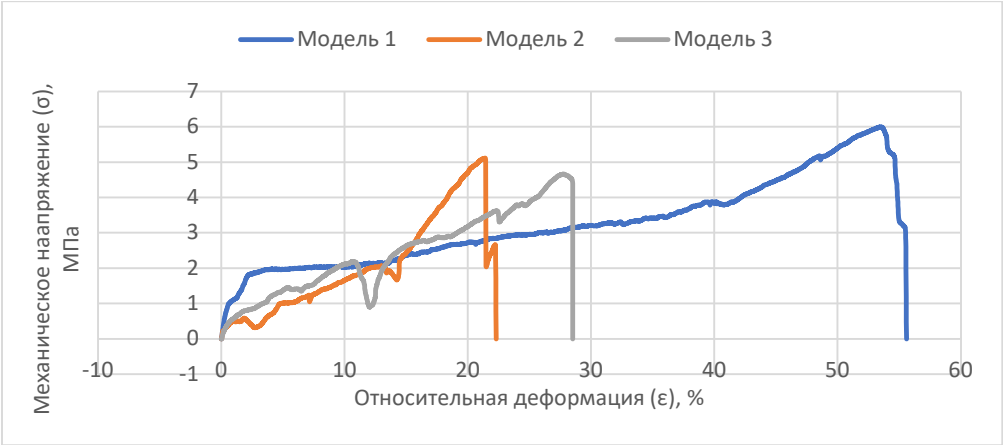


Рисунок 2. Зависимость нормального напряжения σ от относительной деформации ε для трёх моделей

Заключение

Проведенное исследование трех пластиковых моделей титановых нанотрубок с различными структурными характеристиками показало, что их механические свойства существенно зависят от типа структуры. Первая модель продемонстрировала наибольшую пластичность (удлинение 55,58 %) при умеренной прочности (6 МПа), что делает ее перспективной для применений, где важна устойчивость к деформациям. Вторая и третья модели показали снижение прочности и пластичности, что указывает на необходимость дальнейшей оптимизации их структуры. Результаты исследования подчеркивают важность выбора архитектуры нанотрубок для создания медицинских имплантатов с улучшенными механическими свойствами.

Список использованных источников:

1. Zwilling, V., et al. (1999). "Structure and physicochemistry of anodic oxide films on titanium and TA6V alloy." Surface and Interface Analysis, 27(7), 629-637.

2. Brammer, K. S., et al. (2009). "Improved bone-forming functionality on diameter-controlled TiO2 nanotube surface." Acta Biomaterialia, 5(8), 3215-3223.

3. Macak, J. M., et al. (2007). "TiO2 nanotubes: Self-organized electrochemical formation, properties and applications." Current Opinion in Solid State and Materials Science, 11(1-2), 3-18.

4. Park, J., et al. (2007). "Nanotube morphology changes for Ti–Zr alloys as Zr content increases." Nanotechnology, 18(5), 055705.

5. Popat, K. C., et al. (2007). "Titania nanotubes: A novel platform for drug-eluting coatings for medical implants?" Small, 3(11), 1878-1881.

6. Ercan, B., et al. (2011). "Diameter of titanium nanotubes influences anti-bacterial efficacy." Nanotechnology, 22(29), 295102.

УДК 621.383.4

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ЗАПИСИ И СЧИТЫВАНИЯ НА ПЗС – МАТРИЦЕ

Ковалевский Я. Н., студент гр.458303

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Григорьев А. А. – канд. физ.-мат. наук

Аннотация. Работа раскрывает принцип действия ПЗС-матриц - кремниевых сенсоров, преобразующих свет в электрические сигналы через систему МДП-структур и потенциальных ям. Описан механизм переноса зарядов, ключевые характеристики, преимущества и недостатки. Рассмотрено применение в фотоаппаратах, медицине и системах безопасности.

Ключевые слова. ПЗС–матрица, КОМП-матрица, прибор с зарядовой связью (ПЗС), МДП-структуры, физика работы ПЗС, достоинства ПЗС-матриц, недостатки ПЗС-матриц, сферы и примеры применение ПЗС-матриц, p-n переход, полнокадровый перенос, построчный перенос.

Общие сведения о ПЗС-матрице

ПЗС-матрица — это аналоговая микросхема, созданная на кремниевой основе, в которой используются светочувствительные элементы (фотодиоды) и принцип зарядовой связи для преобразования света в электрические сигналы.

Первые ПЗС были созданы в конце 1960-х годов исследователями из корпорации Bell Labs (Уиллард Бойл и Джордж Смит, позже получившие Нобелевскую премию по физике в 2009 году). Изначально они разрабатывались как альтернатива памяти для компьютеров, но вскоре обнаружилось их уникальное свойство — высокая чувствительность к свету. Это открыло путь к использованию ПЗС в качестве светочувствительных сенсоров.

Одними из первых преимущества ПЗС оценили астрономы. Уже в 1972 году NASA запустило программу по адаптации этой технологии для космических наблюдений, а в 1975 году было получено первое изображение астрономического объекта (Урана) с помощью ПЗС-матрицы.

В 1970-е годы началось активное внедрение ПЗС в телевизионные системы, и к концу 1980-х они практически полностью вытеснили электронно-лучевые трубки. Однако широкому распространению ПЗС в первые годы мешали технологические ограничения: неоднородность светочувствительных элементов, высокий уровень шумов и сложность производства крупноформатных матриц.

Прорыв произошёл благодаря совершенствованию технологий изготовления кремниевых пластин и развитию аналого-цифровых преобразователей (АЦП). Это позволило ПЗС-матрицам занять доминирующее положение в цифровой фотографии, научной и медицинской визуализации, став основой современных светочувствительных сенсоров. На рисунке 1 приведён общий вид ПЗС-матрицы.

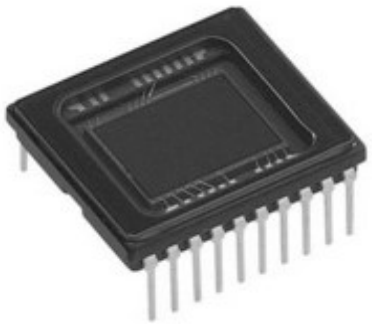


Рисунок 1 – Общий вид ПЗС-матрицы

Прибор с зарядовой связью

Прибор с зарядовой связью представляет собой массив МДП-структур (металл–диэлектрик–полупроводник), интегрированных на общей полупроводниковой подложке. Электроды из поликристаллического кремния, изолированные слоем оксида, формируют линейную или матричную конфигурацию с минимальными зазорами, обеспечивая взаимное влияние соседних элементов. На рисунке 2 приведена структура прибора с зарядовой связью.

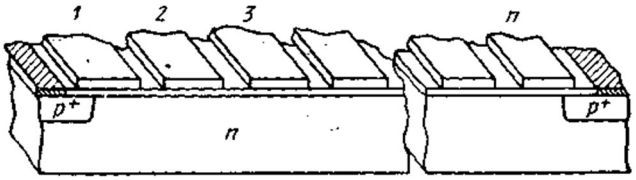


Рисунок 2 – Структура прибора с зарядовой связью

Принцип функционирования ПЗС (Рис. 3) основан на динамическом управлении зарядовыми состояниями в полупроводниковой среде. При подаче потенциала отрицательной полярности на металлизированный электрод возникает электрическое поле, отталкивающее основные носители (электроны) вглубь подложки p-типа. Возле поверхности формируется зона обеднения, выступающая в энергетической модели как область пониженного потенциала для неосновных носителей — положительных зарядов (дырок). Эти носители, попадая в указанную зону, концентрируются у границы диэлектрика, образуя локализованный заряд.

Изменяя амплитуду отрицательных импульсов на соседних электродах, можно создавать градиент потенциалов. Более глубокие зоны пониженного потенциала становятся «ловушками», вызывая направленное перемещение зарядовых пакетов вдоль поверхности. Последовательная активация электродов управляющими сигналами позволяет как фиксировать заряды в конкретных участках, так и осуществлять их транспортировку между элементами структуры. Инициирование зарядовых пакетов реализуется через инжекцию из p-n-перехода (например, возле крайнего элемента) или посредством фотоэлектрического эффекта, тогда как их детектирование выполняется аналогичным переходом на выходной стороне системы.

Ключевой особенностью ПЗС является временное ограничение хранения информации. Термическая генерация пар носителей в объёме полупроводника и на межфазных границах приводит к постепенному накоплению фонового заряда, искажающего исходные данные. Период сохранения информации, хотя и достигает десятков секунд, конечен, что определяет требование к минимальной частоте обновления сигнала. Данный механизм функционирования основан на переходных процессах в МДП-структурах, что относит ПЗС к динамическим устройствам с цикличным характером работы.

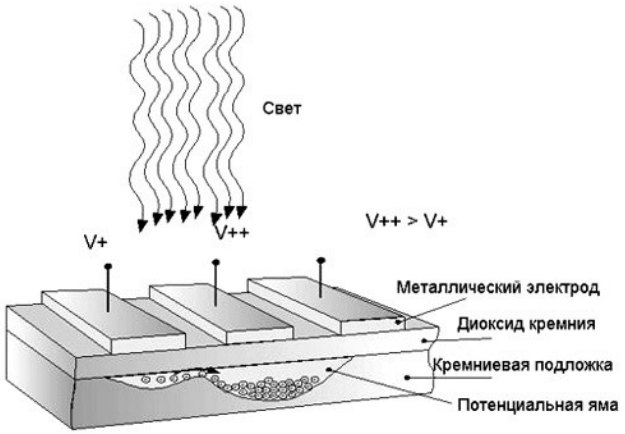


Рисунок 3 – Конструкция ПЗС-элемента

Устройство и физика работы приборов с зарядовой связью

ПЗС-технология использует электрофизические особенности полупроводников. Инжекция заряда осуществляется через p-n переход или путём генерации носителей под действием света.

p-n переход — граница между зонами полупроводника с противоположными типами проводимости: p-типом (дырочная проводимость) и n-типом (электронная проводимость). Эта область обеспечивает управление движением зарядов, необходимое для работы ПЗС-элементов.

Для модификации электронных свойств кремния применяются методы легирования — диффузия и ионная имплантация. При введении атома с пятью валентными электронами (например, фосфора) в кристаллическую решётку один электрон остаётся слабо связанным с ядром. Под действием внешнего поля этот электрон легко отрывается, становясь подвижным носителем заряда. Такой материал, обогащённый свободными электронами, классифицируется как полупроводник n-типа, а добавленная примесь именуется донорной.

Для создания полупроводника p-типа в кремний внедряют трёхвалентные атомы (например, бор). Недостаток электрона в одной из связей формирует локальную область с положительным зарядом — дырку. Хотя проводимость здесь обусловлена перемещением электронов между дырками, энергетический барьер для их движения выше, чем в n-типе, что снижает общую проводимость. Увеличение концентрации примесей в обоих случаях уменьшает сопротивление, приближая материал к проводниковым свойствам.

При контакте областей n- и p-типа в едином кристалле возникает диффузия носителей: электроны из n-зоны мигрируют в p-зону, а дырки — в обратном направлении. Этот процесс приводит к появлению на границе неподвижных ионов — положительных в n-области и отрицательных в p-области. Формируется запирающий слой, препятствующий дальнейшему перемещению носителей и устанавливающий электрическое равновесие.

При подключении к p-области отрицательного полюса источника, а к n-области — положительного, внешнее поле усиливает запирающий слой, оттягивая электроны и дырки к противоположным электродам. Ток через переход практически отсутствует.

При прямом смещении (p-зону к «+», n-зону к «–») внешнее поле преодолевает барьер, направляя электроны и дырки к переходу. Носители рекомбинируют, а новые электроны поступают из источника, замыкая цепь. Это обеспечивает устойчивый ток, пропорциональный приложенному напряжению.

Принцип переноса зарядов между МДП-структурами

Простейшие ПЗС-матрицы используют поверхностный канал переноса, где электроды расположены на изолирующем слое однородного p-кремния. В такой конструкции накопление и перенос заряда происходят в приповерхностном слое, что приводит к существенным ограничениям: дефекты поверхности вызывают захват и медленное высвобождение зарядов (размазывание изображения), а также спонтанную эмиссию электронов (рост темнового тока). Эти фундаментальные недостатки удалось преодолеть в ПЗС с объёмным каналом, где под оксидным слоем формируется тонкая n-область, смещающая зону переноса зарядов вглубь кристалла. Аналогичный принцип применяется в выходных усилителях — переход на объёмный канал позволил значительно снизить шумы и улучшить общие характеристики устройства. Принцип переноса зарядов между МДП-структурами приведён на рисунке 5.

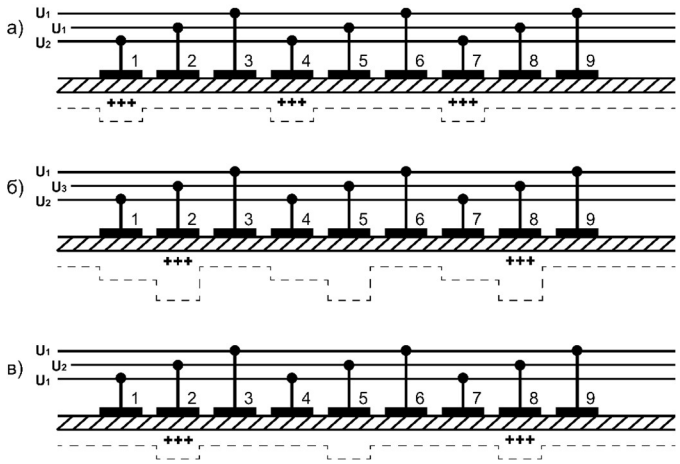


Рисунок 5 – Принцип переноса зарядов между МДП-структурами ПЗС

Существуют два основных типа переноса заряда. В архитектуре полнокадрового переноса (Full-Frame Transfer) вся площадь ПЗС-матрицы используется одновременно для накопления света и хранения зарядов. После экспонирования весь массив зарядов быстро сдвигается в закрытую от света область хранения, откуда построчно передаётся в выходной регистр. Такой подход обеспечивает 100% заполнение пикселей светочувствительными элементами, что даёт максимальную эффективность использования площади и высокую светочувствительность. Однако система требует механического затвора для блокировки света во время переноса данных и имеет ограниченную скорость считывания, что делает FT-матрицы идеальными для научных и астрономических применений, где приоритетны качество изображения и точность, а не быстродействие.

Архитектура построчного переноса (Interline Transfer) использует чередование светочувствительных пикселей с вертикальными буферными регистрами, экранированными от света (Рис. 6). Это позволяет мгновенно переносить заряды из фотоактивной области в соседние буферные столбцы, после чего начинается новое накопление света без необходимости в механическом затворе. Хотя такая конструкция уменьшает полезную площадь пикселя (примерно на 30-50%), она обеспечивает

высокую скорость считывания и возможность непрерывной съёмки, что критично для видео и серийной фотосъёмки. IT-матрицы доминируют в потребительской электронике благодаря компромиссу между скоростью и чувствительностью.

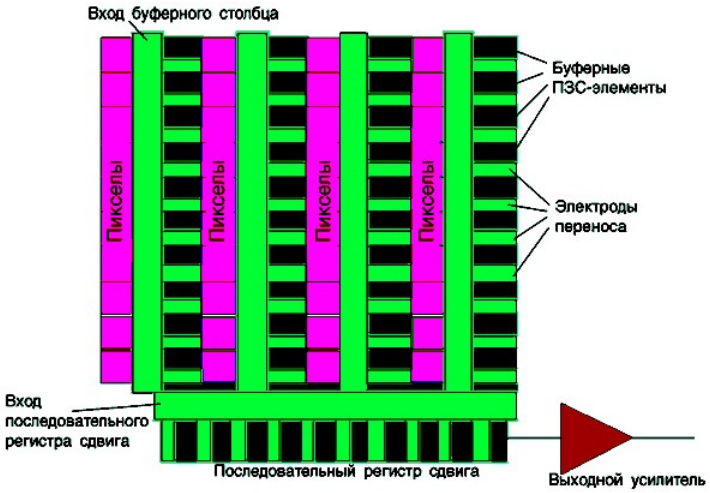


Рисунок 6 – Матрица с буферизацией столбцов

Для ускорения обработки в крупноформатных матрицах применяется параллельный перенос зарядов, при котором целые строки одновременно смещаются к выходу. Это достигается за счёт создания разности потенциалов между строками, а не отдельными элементами, что значительно сокращает время считывания. Такой подход позволяет эффективно преобразовывать двумерное распределение зарядов в аналоговый сигнал без потери производительности.

При каждом переносе зарядов изображение постепенно искажается из-за изменений в выходном сигнале. Чтобы минимизировать этот эффект, используется затвор, который блокирует попадание света на матрицу во время считывания, предотвращая возникновение фотоэффекта. Однако пока затвор закрыт, свет не попадает на полупроводник, новые заряды не формируются, и следующее изображение нельзя получить до завершения считывания. Эту проблему решили, добавив рядом с каждым столбцом матрицы дополнительный столбец ПЗС-элементов, экранированный от излучения. После формирования заряды перемещаются в эти защищённые элементы, где на них больше не влияет свет, а основные элементы остаются свободными для записи нового изображения.

Преимущества ПЗС-матриц:

- Практически 100% использование светочувствительной поверхности – минимальные потери площади на структурные элементы.
- Крайне малое количество мёртвых зон между пикселями – высокая эффективность сбора света.
- Простота конфигурации и регулярность структуры – одинаковые ячейки, предсказуемое поведение.
- Относительная простота производства – по сравнению с современными КМОП-матрицами.
- Минимальный уровень шумов – особенно при низкой освещённости (низкий темновой ток).
- Высокая однородность изображения – мало различий между пикселями.

Недостатки ПЗС-матриц:

- Низкая скорость считывания – из-за последовательного переноса зарядов.
- Высокое энергопотребление – требует сложных схем управления.
- Дорогое производство – особенно для крупноформатных матриц.
- Необходимость механического затвора (в FT-архитектуре) – ограничивает скоростную съёмку.

Сравнение КМОП и ПЗС

КМОП-сенсоры (комплементарные металл-оксид-полупроводниковые матрицы) — это технология, лежащая в основе большинства современных устройств цифровой визуализации. С момента своего появления ПЗС-матрицы совершили революцию в цифровой визуализации, став основой для астрономических наблюдений, научных исследований и профессиональной фотографии. Однако с развитием КМОП-технологий на рынке произошёл заметный сдвиг — современные смартфоны и камеры теперь почти исключительно используют КМОП-сенсоры.

Главное отличие КМОП-технологии заключается в интеграции усилителей и аналого-цифровых преобразователей непосредственно в структуру каждого пикселя. В отличие от ПЗС, где заряд последовательно переносится к единому усилителю, КМОП-матрицы позволяют параллельное считывание отдельных участков изображения. Такая архитектура обеспечивает принципиально иной подход к обработке сигнала — каждый пиксель содержит собственный транзисторный усилитель, что устраняет необходимость сложных схем переноса заряда. Технологически это достигается за счёт стандартных КМОП-процессов, используемых в производстве микропроцессоров, что делает изготовление таких матриц более универсальным и масштабируемым.

Широкое распространение КМОП-матриц в смартфонах и цифровых камерах обусловлено их принципиальными эксплуатационными преимуществами. Они потребляют значительно меньше энергии, что критически важно для мобильных устройств, и позволяют реализовать более высокие скорости съёмки — до тысяч кадров в секунду. Возможность произвольного считывания отдельных областей изображения открывает новые функциональные возможности, такие как быстрый автофокус и HDR-съёмка без механического затвора. Кроме того, себестоимость производства КМОП-матриц существенно ниже благодаря совместимости с массовыми полупроводниковыми технологиями.

Современное развитие гибридных КМОП-сенсоров постепенно сокращает разрыв в ключевых параметрах, однако ПЗС сохраняют нишевое превосходство в задачах, где важна абсолютная точность измерений. Интересно, что некоторые новейшие КМОП-матрицы теперь заимствуют принципы архитектуры ПЗС, что свидетельствует о взаимном обогащении этих технологий. Тем не менее, для массового потребителя преимущества КМОП остаются неоспоримыми, в то время как научное сообщество продолжает совершенствовать ПЗС для экстремальных условий работы.

Применение ПЗС-технологий

В астрономических исследованиях ПЗС-детекторы обеспечивают беспрецедентную точность фотометрических измерений. Их способность регистрировать до 95% падающих фотонов при минимальном темновом токе делает их незаменимыми для наблюдений слабых астрономических объектов. Особое значение имеет свойство линейного отклика в широком динамическом диапазоне, что позволяет точно измерять интенсивность излучения как от ярких, так и от слабых источников. Именно эти характеристики обусловили применение ПЗС в большинстве профессиональных астрономических инструментов, включая орбитальные телескопы.

В медицинской диагностике ПЗС-технологии находят применение в рентгеновской визуализации и эндоскопическом оборудовании. Высокая однородность отклика пикселей и стабильность характеристик во времени обеспечивают точность количественных измерений, необходимую для диагностических процедур. В цифровой рентгенографии ПЗС-детекторы позволяют снизить дозовую нагрузку на пациента при сохранении высокого качества изображения. Эндоскопические системы с ПЗС-матрицами обеспечивают разрешение, необходимое для проведения малоинвазивных хирургических вмешательств.

Несмотря на конкуренцию с современными КМОП-технологиями, ПЗС-матрицы продолжают оставаться востребованными в науке, промышленности и специализированных областях. Их производством занимаются как мировые гиганты вроде Sony, Samsung и Philips, так и российские предприятия, например, питерская компания «Силар», сохраняющая традиции разработки высококачественных сенсоров. Уникальные характеристики ПЗС — превосходная чувствительность, стабильность и точность — делают их незаменимыми там, где важна каждая частица света, будь то астрономические наблюдения, медицинская диагностика или прецизионные промышленные системы.

Список использованных источников:

1. Носов, Ю.Р. Приборы зарядовой связи. М.: Знание, 1989.

2. Ривкин, Я.Я., Енгибарян, В.В. Приборы с зарядовой связью: Физика и применение. М.: Издательство МГУ, 1988.

3. П. Йесперса, Ф. Ван де Виле, М. Уайта, Р. А. Суриса. Полупроводниковые формирователи сигналов изображения. — М.: Мир, 1979.

4. Воробьев, С.И., Дороднов, В.А., Шиманский, А.П. Приборы с зарядовой связью. М.: Наука, 1982.

5. Ю.Р. Носов, В.А. Шилин. Основы физики приборов с зарядовой связью. — М.: Наука, 1986.

6. Носов, Ю.Р., Шилин, В.А. Полупроводниковые приборы с зарядовой связью. М.: Сов. радио, 1976.-141с.

7. Носов Ю.Р., Шилин В. А. Основы физики приборов с зарядовой связью. М.: Наука, 1986.-319с.

8. М. Хоувза, Д. Моргана. Приборы с зарядовой связью. — М.: Энергоиздат, 1981.

UDC 621.383.4

PHYSICAL PRINCIPLES OF RECORDING AND READING ON A CCD MATRIX

Kovalevsky Y. N.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Grigoriev A.A. – PhD in Physics and Mathematics

Abstract. The paper elucidates the operating principles of CCD matrices — silicon sensors that convert light into electrical signals via a system of MOS (Metal-Oxide-Semiconductor) structures and potential wells. The charge transfer mechanism, key characteristics, advantages, and limitations are described. Applications in digital cameras, medical imaging, and security systems are discussed.

Keywords. CCD-matrix, CMOS matrix, charge-coupled device (CCD), MIS structures, physics of CCD operation, advantages of CCD-matrices, disadvantages of CCD-matrices, application areas and examples of CCD-matrices, p-n junction, full-frame transfer, interline transfer.

УДК 681.586.35

ОПТИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ: МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ГАЗОВ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОЦЕССАХ

Короб Г. С., Квартальный А. С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Савилова Ю. И. – к. т. н., доцент

Аннотация. В данной работе будут рассмотрены оптические датчики для измерения концентраций газов в промышленных процессах. Данное исследование демонстрирует перспективность оптических методов для мониторинга газовых сред в реальном времени.

Ключевые слова: Оптические газовые датчики, концентрация газов, Инфракрасная абсорбционная спектроскопия, лазерная спектроскопия, флуоресцентные методы, промышленный мониторинг, промышленный интернет вещей.

Введение. Контроль концентрации газов в промышленных процессах играет ключевую роль в экологической стабильности, производственных циклах и обеспечении безопасности. Современные нормативы, такие как предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ, требуют применения высокоточных и оперативных методов анализа. Традиционные методы газового анализа обладают рядом ограничений: необходимостью частой калибровки, низким быстродействием, малой чувствительностью, низкой селективностью по газам [1]. В свою очередь, оптические датчики, основанные на принципе спектрального поглощения, свободны от указанных недостатков. Охватывает последние достижения в области волоконно-оптических и лазерных датчиков, а также перспективы интеграции искусственного интеллекта для обработки спектральных данных.

Основная часть. Существует множество методов оптического измерения концентрации газов, основные из них:

1 Инфракрасная абсорбционная спектроскопия. Метод основывается на фиксировании спектральных линий, поглощаемых образцом, основываясь на переход между колебательными и вращательными Статья уровнями энергии молекул [2]. Используется для детектирования CO_2, CH_4, CO в промышленных процессах [3].

2 Лазерная спектроскопия. Метод основывается на использовании лазеров с узкой спектральной линией для высокочувствительных измерений. Выделяется высокой чувствительностью и возможностью измерения в реальном времени.

3 Фотометрические и флуоресцентные методы. Они заключаются в измерении рассеяния света при взаимодействии с газом [4]. Например, флуоресцентные датчики O_2 используют тушение флуоресценции кислородом.

Оптические газовые датчики нашли широкое применение в различных отраслях промышленности благодаря своей высокой точности, надежности и способности работать в сложных производственных условиях. В металлургической отрасли они используются для непрерывного контроля состава технологических газов в доменных и мартеновских печах, позволяя оптимизировать процесс выплавки металлов и снижать выбросы вредных веществ. Особое значение имеет мониторинг концентрации CO и CO_2 в коксовых газах, где традиционные методы часто дают погрешности из-за высокой температуры и запыленности среды. В нефтехимической промышленности оптические датчики применяются для обнаружения утечек метана на магистральных трубопроводах, контроля содержания сероводорода на установках переработки нефти и мониторинга выбросов на предприятиях нефтехимического комплекса. Энергетическая отрасль использует эти технологии для измерения концентрации CO_2 на угольных электростанциях, контроля выбросов газовых турбин и мониторинга элегаза в высоковольтном оборудовании. В последние годы появились инновационные решения, такие как беспилотные системы мониторинга с лазерными сканерами LiDAR, мобильные лаборатории с квантовыми каскадными лазерами и встраиваемые оптоволоконные сенсоры для систем автоматизированного управления технологическими процессами [5]. Эти разработки позволяют создавать распределенные сети контроля газового состава, охватывающие всю территорию промышленных предприятий и обеспечивающие

мгновенное обнаружение опасных концентраций токсичных или взрывоопасных веществ. Особенно перспективным направлением является интеграция оптических датчиков с системами промышленного интернета вещей (IoT), что открывает новые возможности для прогнозной аналитики и превентивного управления экологической безопасностью производств [6].

В сравнении с другими датчиками, оптические имеют более высокую селективность и долговечность. Например, электрохимические датчики помимо упомянутых недостатков имеют возможность течи электролита на границе металл – пластиковый корпус при термо ударе или длительной работе, возможность испарения электролита через ГДМ [7].

Заключение. Таким образом оптические методы газового анализа обладают существенными преимуществами по сравнению с традиционными технологиями. Дальнейшее развитие таких датчиков будет связано с развитием промышленности и ужесточением экологических нормативов. Благодаря внедрению интеллектуальных систем мониторинга на основе оптических датчиков значительно повысится безопасность и эффективность промышленных процессов.

Список литературы

1.Виглеб Г. Датчики, устройства и применение. // Пер. с нем. М.: Мир, 1989. 196 с.

2.Тюрикова Екатерина Павловна, Кустикова Марина Александровна, Быковская Елена Александровна метод спектроскопии комбинационного рассеяния в анализе хладагентов, классифицированных как озоноразрушающие вещества // вестник мах. 2021.

3. EPA Method 320 – Measurement of Vapor Phase Organic and Inorganic Emissions by Extractive Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy. // U.S. EPA, 2012.

4.Черкес Наталья Сергеевна Сравнительный анализ методик выполнения измерений фталевого ангидрида в промышленных выбросах // Вестник ВГТУ. 2013.

5. Филиппов М. А. ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ТЕХНОЛОГИИ LiDAR // Символ науки. 2023.

6. Жмудь Вадим Аркадьевич, Ляпидевский Александр Валерьевич, Аврамчук Валерий Степанович, Стукач Олег Владимирович, Рот Губерт ТЕХНОЛОГИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ: ВОЗМОЖНЫЕ БАРЬЕРЫ И ПУТИ ИХ ПРЕОДОЛЕНИЯ // Автоматика и программная инженерия. 2019.

7. Никольская Е. Ю. Портативные электрохимические сенсоры для газового анализа современное состояние вопроса в Европе и Америке // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2004.

UDC 681.586.35

OPTICAL SENSORS: METHODS OF MEASURING GASES CONCENTRATIONS IN INDUSTRIAL PROCESSES

Korob G. S., Kvartalny A. S

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Savilova J. I. – Cand. of Sci., associate professor of the Department of Physics

Annotation. This paper will consider optical sensors for measuring gas concentrations in industrial processes. This study demonstrates the promise of optical methods for real-time monitoring of gas media.

Keywords: Optical gas sensors, gas concentration, Infrared absorption spectroscopy, laser spectroscopy, fluorescent methods, industrial monitoring, industrial internet of things.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦЫ В НЕОДНОРОДНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ В СРЕДЕ MATHCAD

Красько А.П.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Работа посвящена моделированию движения частицы с магнитным моментом в неоднородном магнитном поле с использованием среды MATHCAD.

При обучении естественнонаучным дисциплинам необходимо использовать программное обеспечение, которое может являться средой общения, редактирования математических объектов, моделирования процессов и средством презентации материала в лекционном режиме.

MATHCAD - система компьютерной алгебры из класса систем автоматизированного проектирования, ориентированная на подготовку интерактивных документов с вычислениями и визуальным сопровождением. Среда математического моделирования MATHCAD используется в сложных проектах, чтобы визуализировать результаты математического моделирования, путем использования распределённых вычислений и традиционных языков программирования. MATHCAD достаточно удобно использовать для обучения, вычислений как физических, так и инженерных расчетов. Открытая архитектура приложения в сочетании с поддержкой технологий .NET и XML позволяют легко интегрировать MATHCAD практически в любые ИТ-структуры и инженерные приложения. Есть возможность создания электронных книг (e-Book).

Для экспериментального исследования характеристик движения частиц, имеющих магнитный момент, применяется неоднородное магнитное поле. Рассмотрим модель, в которой используется неоднородное магнитное поле, созданное двумя длинными параллельными проводниками, в которых токи текут в противоположных направлениях. Расположим проводники в плоскости XOY параллельно оси OX на расстоянии $2a$ друг от друга. Пусть токи равны I, частица начинает своё движение из точки $M_0(x_0, 0, z_0)$ со скоростью $\overline{v_0} = (0,0,v_{z0})$.

Для анализа траектории движения частицы с магнитным моментом в неоднородном магнитном поле составим уравнение по второму закону Ньютона. На частицу со стороны поля будет действовать сила:

$$\overline{F} = -gradU \quad (1),$$

где U - энергия, которую приобретают частицы в магнитном поле, равная скалярному произведению магнитного момента на индукцию поля:

$$U = -\mu_{sz}B \quad (2).$$

С учётом того, что градиент поля существенен лишь в направлении оси OZ, получаем:

$$F_z = -\mu_{sz}\frac{\partial B}{\partial z} \quad (3).$$

Определение индукции магнитного поля в точках плоскости движения частицы является тривиальной задачей. Воспользуемся известной формулой для модуля индукции поля системы проводников:

$$\mathrm{B} = \mu_0 I \frac{a}{\pi(z^2+a^2)} \quad (4).$$

Средствами MATHCAD выполним дифференцирование выражения (1) по переменной z и получим величину производной индукции магнитного поля как функцию координаты:

$$\frac{\partial B}{\partial z} = \frac{-2\mu_0 azI}{\pi(z^2+a^2)} \quad (5).$$

Запишем второй закон Ньютона в проекциях на оси:

$$m_a \frac{dv_x}{dt} = 0;$$

$$m_a \frac{dv_y}{dt} = 0; \qquad (6)$$
$$m_a \frac{dv_z}{dt} = \frac{2\mu_{sz}\mu_0 azI}{\pi(z^2 + a^2)}.$$

Численно решим данную систему дифференциальных уравнений, применив метод Рунге-Кутта 4-го порядка, которому в среде MATHCAD соответствует встроенная функция:

$$V_k = rkfixed(V0(k), t0, t, N, D) \qquad (7),$$

где $V0$ – вектор начальных скоростей и координат; $t0$ – начальное значение времени; t – конечное;N – число разбиений данного временного интервала;D – векторная функция, составленная из выражений правых сторон системы дифференциальных уравнений для проекций скоростей и координат (Рис.1).

Рисунок 1 – а) вектор производная, б) вектор переменных в) вектор начальных значений

$$D(t,V) := \begin{bmatrix} V_1 \\ 0 \\ V_3 \\ 0 \\ V_5 \\ p_{mz} \cdot \dfrac{2 \cdot I \cdot a \cdot \mu_0 \cdot \mu_{sz} \cdot V_4}{\pi \cdot \left[a^2 + (V_4)^2\right]^2 ma} \end{bmatrix} \quad V = \begin{pmatrix} x_0 \\ v_{x0} \\ y_0 \\ v_{y0} \\ z_0 \\ V_{z0} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \end{pmatrix} \quad V0 := \begin{pmatrix} x_0 \\ v_{x0} \\ 0 \\ 0 \\ z_0 \\ V_{z0} \end{pmatrix}$$

а) б) в)

Получив функции координат от времени, можно построить график траектории движения частицы с магнитным моментом. На графике (Рис.2) наблюдаем ее отклонение вверх. Отклонение вниз получается при противоположном знаке проекции магнитного момента на направление магнитного поля.

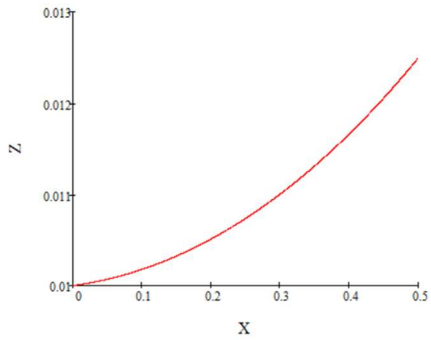


Рисунок 2 – график траектории движения частицы

Данная модель может быть применена для визуализации расщепления пучка атомов при объяснении опыта Штерна-Герлаха.

Использование MATHCAD позволило эффективно провести расчёты, визуализировать траекторию и подтвердить адекватность модели. Разработанный подход может быть применён в учебном процессе для наглядного объяснения взаимодействия частиц с неоднородными полями, а также расширен для анализа более сложных конфигураций магнитных полей и динамики частиц с различными параметрами.

Список использованных источников:

1. Савельев И.В. Курс общей физики: учеб. пособие. Том 2 / / И.В. Савельев. – М. Изд-во Моск. ун-та Наука, 1988. – С.133-138

2. Руководство пользователя MATHCAD [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://old.exponenta.ru/soft/mathcad/usersguide/chapter16/16_2.asp – Дата доступа: 07.04.2025

`

УДК 621.3:084.872

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДЕГРАДАЦИИ ЛИТИЙ-ИОННЫХ БАТАРЕЙ МЕТОДОМ MACHINE LEARNING

Кузьмич П.В. студент гр.478105, Ложечка А.А. студент гр.478101
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Савилова Ю.И. – к.т.н., доцент

В данной статье рассматривается роль и прогнозирование жизни литий-ионных батарей. Мы обсудим насколько широка область применения литий-ионных аккумуляторов. Рассмотрим программу, которая предоставляет нам время жизни литий-ионных батерей от установленных нами входных данных. Данная статья предоставляет понятное объяснение принципов работы ML-инженера и их важность в современных информационных технологиях.

Ключевые слова. Литий-ионные батареи, machine learning, алгоритм, деградация, прогнозирование.

Мир машинного обучения и анализа данных многообразен. ML-разработчик — это программист, который работает с машинным обучением (Machine Learning) и с помощью специальных наборов данных и алгоритмов обучает искусственный интеллект, а также создаёт компьютерные модели. ML давно стало частью информационных систем. Впервые история машинного обучения началась в 1950-х, когда появились первые нейронные сети и алгоритмы ML.

Литий-ионные аккумуляторы широко применяются в электромобилях, портативной электронике и системах хранения энергии. Однако их деградация, вызванная химическими и механическими процессами, приводит к снижению ёмкости и росту внутреннего сопротивления. В данной работе исследуются методы машинного обучения для прогнозирования остаточной ёмкости и срока службы батарей. Рассмотренные алгоритмы проходят на основе открытых данных NASA Battery Dataset. Результаты демонстрируют перспективность ML для оптимизации эксплуатации аккумуляторов.

Для работы в области науки о данных разработана масса программных библиотек, вычислительных каркасов, модулей и наборов инструментов, которые эффективно имплементируют наиболее общие алгоритмы и технические решения, применяемые в науке о данных. Тот, кто станет исследователем данных, несомненно, будет досконально знать научно-вычислительную библиотеку NumPy, библиотеку машинного обучения scikit-learn, библиотеку для анализа данных pandas и множество других. По поводу того, какой язык программирования лучше всего подходит для усвоения науки о данных, развернулась здоровая полемика. Многие настаивают на языке статистического программирования R. Некоторые предлагают Java или Scala. Однако, по нашему мнению, Python - идеальный вариант. Он обладает несколькими особенностями, которые делают его наиболее пригодным для изучения и решения задач в области науки о данных:

- Он относительно прост в написании кода (и в особенности в понимании)
- Он располагает сотнями прикладных библиотек, предназначенных для работы в области науки о данных
- Он обладает огромным сообществом, что позволяет быстро решать технические проблемы

ML-разработчик выступает связующим звеном между теорией и практикой. Без его экспертизы невозможно достичь точности прогноза и адаптировать модель под реальные условия.

ML-разработчик – это не просто программист, а специалист, сочетающий навыки анализа данных, понимание алгоритмов и умение решать инженерные задачи, что делает его незаменимым в проектах, связанных с искусственным интеллектом и прогнозной аналитикой.

В исследовании были использованы следующие библиотеки:

- NumPy – это библиотека Python с открытым исходным кодом, которая используется практически во всех областях науки и техники
- Pandas – одна из первостепенных, используемых в науке о данных для работы с данными (в частности, для импорта данных)
- Scikit-learn – самая популярная библиотека для работы в области машинного обучения на языке Python. Она содержит все модели, которые были тут имплементированы, и многие другие
- Matplotlib – популярная Python-библиотека для визуализации данных. Она используется для создания любых видов графиков: линейных, круговых диаграмм, построчных гистограмм и других – в зависимости от задач

С учётом вышеупомянутых инструментов, мы приступили к построению регрессии методом случайного леса на основе открытых данных от NASA Battery Dataset. Регрессия случайного леса – метод машинного обучения, основанный на построении огромного количества логических деревьев для предсказания числовых значений. Этот метод отлично нам подходит, так как он точнее простой

регрессии, улавливает сложные закономерности в данных, а также показывает, какие признаки сильнее влияют на результат.

Полученные данные мы разделяем на тренировочную и тестовую выборку в соотношении 80/20. Затем мы подсчитали среднюю абсолютную ошибку и коэффициент детерминации. Средняя абсолютная ошибка – это мера ошибок между парными наблюдениями, выражающими одно и то же явление Коэффициент детерминации является статистической мерой согласия, с помощью которой можно определить, насколько модель соответствует данным, на которых она построена. Эти данные можно увидеть на рисунке 1.

```
[490 rows x 6 columns]
Средняя абсолютная ошибка (MAE): 40.75476571428557
Коэффициент детерминации (R^2): 0.9751979945848624
```

Рисунок 1 – средняя абсолютная ошибка и коэффициент детерминации

Данные напрямую зависят от параметров. Каждый параметр в датасете имеет значение, от которого зависят выходные данные. У нас были такие параметры, как:

- Напряжение (Voltage_measure) – его падение со временем коррелирует с деградацией электродов
- Ток (Current_measured) – высокие разряды тока приводят к увеличению глубины разряда, что ускоряет деградацию активных материалов электродов
- Температура (Temperature_measured) – перегрев ускоряет химические реакции, снижая срок службы батареи
- Ток нагрузки (Current_load) – резкие изменения тока нагрузки приводят к микроскопическим повреждениям кристаллической решётки графита
- Напряжение нагрузки (Voltage_load) – превышение 4.2 В (максимального напряжения) приводит к оперативному окислению катода. При нагрузке меньше 2.5 В (минимального напряжения) вызывается необратимая сульфатация анода

После выполнения вышеперечисленных действий мы визуализируем результаты в виде графика, имеющего зависимость фактического от предсказанного времени жизни (см. рисунок 2).

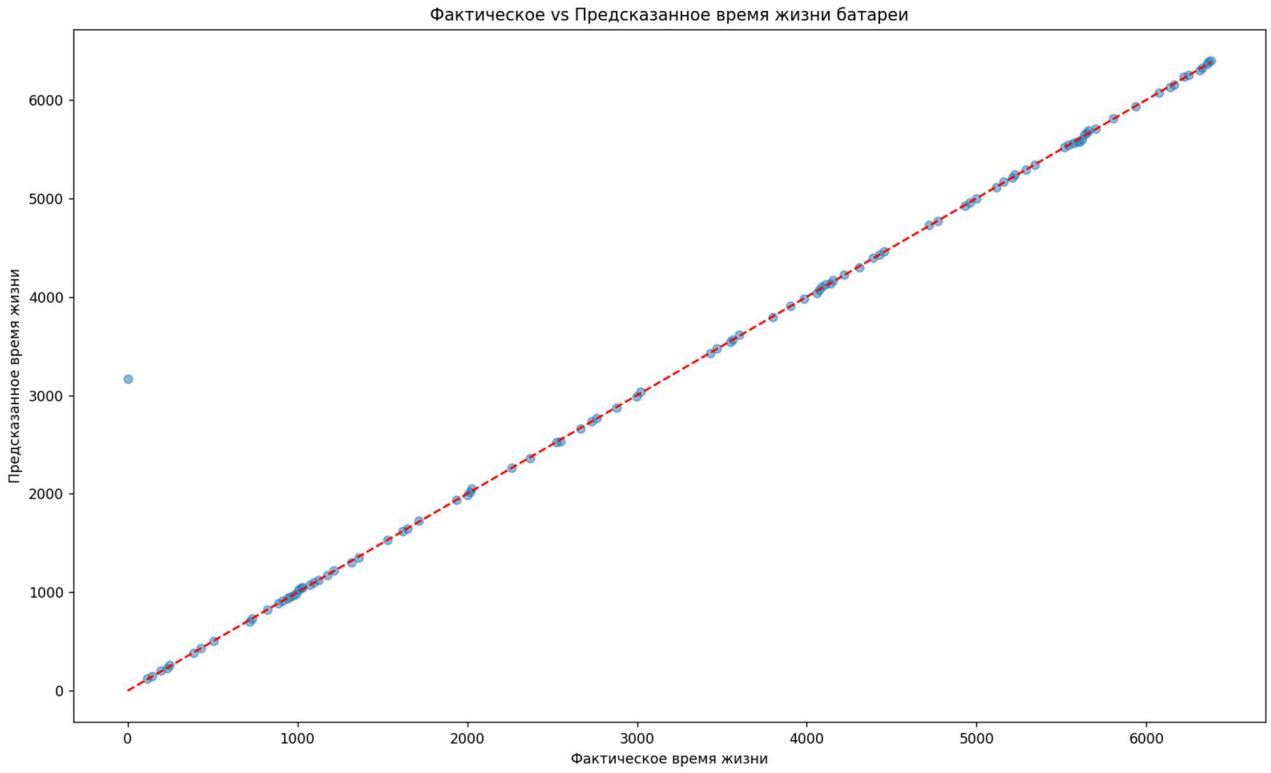


Рисунок 2 – график линейной регрессии

Следом за этим мы вводим данные о нашей литий-ионной батарее и получаем графики прогнозирования деградации. Номинальное напряжение для литий-ионной батарее от 3.6 до 3.7 В. Стандартный ток постоянного заряда составляет 0,5C, где C – это емкость аккумулятора. Для литий-ионных аккумуляторов рекомендуемый диапазон рабочих температур составляет от 20 °C до 25 °C. Пиковый ток (кратковременный) может находиться в диапазоне 5C–10C. Рабочий диапазон нагруженного напряжения – от 3 до 4.2 В.

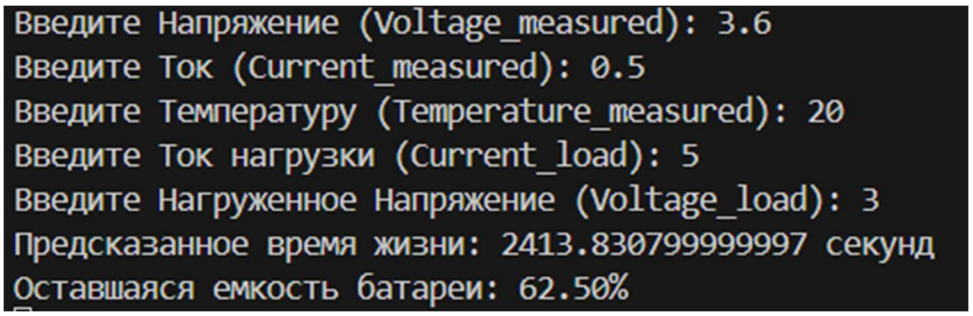


Рисунок 3 – введенные данные с полученной деградацией

По итогу мы получаем предсказанное время жизни нашей литий-ионной батареи и оставшуюся ёмкость батареи. Оставшаяся ёмкость батареи (SOH) – это показатель, отражающий текущую ёмкость батареи относительно её начального значения. Обычно выражается в процентах:

$$SOH = \frac{\text{Текущаяёмкость}}{\text{Начальнаяёмкость}} * 100\% \quad (1)$$

В качестве начального значения было выбрано максимальное время жизни из датасета. Предсказанное время жизни – это прогнозируемый момент, когда батарея достигнет предельного значения SOH (обычно 70–80%).

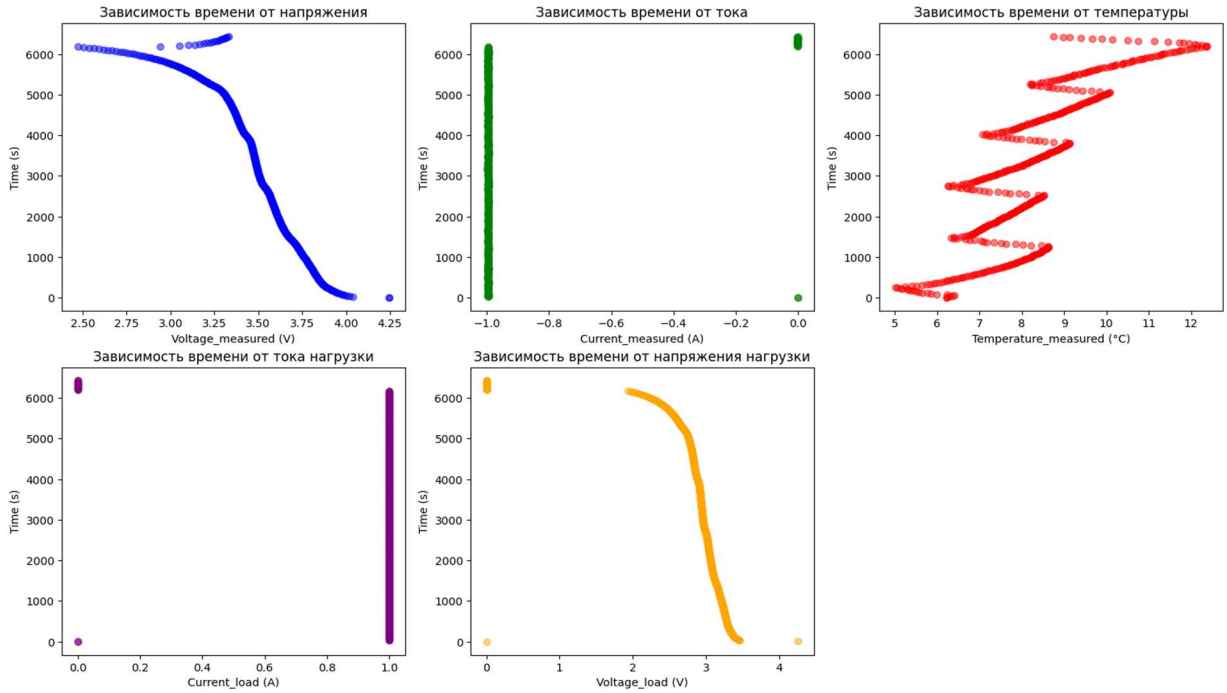


Рисунок 4 – графики деградации литий-ионной батареи

Также мы должны понимать, что, если напряжение под нагрузкой падает ниже минимального, то это ведёт к необратимой деградации. Иначе, если при зарядке будет превышение максимума, то это может вызвать перегрев и риск возгорания. В датасете NASA Battery Dataset ток нагрузки составлял 2 – 4 А, что подходит для режима нормальной эксплуатации.

Список использованных источников:

1. Data Science. Наука о данных с нуля / Джоэл Грас // БХВ-Петербург, 2020. – С.413-416.

2. NASA Battery Dataset [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.kaggle.com/datasets/patrickfleith/nasa-battery-dataset

3. Battery-Aging-Analysis [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://github.com/Pratham-code-01/Battery-Aging-Analysis

4. Архитектура платформы машинного обучения в продакшене [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://habr.com/ru/articles/688406

UDC 004.65:004.056

PREDICTION OF LITHIUM-ION BATTERIES DEGRADATION BY MACHINE LEARNING

Kuzmich P.V. student gr.478105, Lozhechka A.A. student gr.478101
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Savilova U.I. – Candidate of Technical Sciences, scientific supervisor

This article discusses the role and life prediction of lithium-ion batteries. We will discuss how wide the scope of application of lithium-ion batteries is. We will consider a program that provides us with the life time of lithium-ion batteries from the input data we set. This article provides a clear explanation of the principles of ML engineer and their importance in modern information technology.

Keywords. Lithium-ion batteries, machine learning, algorithm, degradation, forecasting.

ОТ ГИПОТЕЗЫ К КВАНТОВОЙ РЕАЛЬНОСТИ: ПУТЬ К ПОНИМАНИЮ КОРПУСКУЛЯРНО-ВОЛНОВОГО ДУАЛИЗМА

Москалькова А. Ю., Кухарёнок А. С. Студенты гр. 468404, 468402

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Республика Беларусь

Храмович Е.М. – канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры физики

Аннотация. В работе рассматривается концепция, согласно которой частицы, такие как электроны и фотоны, обладают как корпускулярными, так и волновыми свойствами. Корпускулярно-волновой дуализм — это явление, которое является основополагающим для понимания квантовой механики и её применения в современных технологиях.

Ключевые слова. Корпускулярно-волновой дуализм, квантовая теория, Луи де Бройль, Томас Юнг, фотоны.

Если свет ведёт себя как волна, то вместе с интерференцией должна наблюдаться и дифракция света. Ведь дифракция – огибание волнами краев препятствий – присуща волновому движению. В результате этого в области геометрической тени могут возникать светлые зоны, а в области, куда в соответствии с законом прямолинейного распространения светового луча должен падать свет, может возникать темная зона. К концу 19 века многие были уверены, что свет имеет волновую природу. Но Макс Планк доказывает совершенно другое и показывает всем, что электромагнитное поле излучается порциями, а именно квантами. Альберт Эйнштейн подтвердил и доказал, что поглощение тоже происходит квантами. Эти идеи Альберта Эйнштейна и Макса Планка стали началом квантовой теории и позволили более точно описать явление фотоэффекта, суть которого заключается в том, что фотоны способны выбивать электроны из внешнего слоя вещества. При этом количество выбитых электронов связано с частотой световых волн, но не с их интенсивностью. То есть электроны будут покидать поверхность независимо от яркости света, но только при условии достаточного получения энергии. Энергия кванта может быть поглощена целиком, поэтому если, энергия кванта света будет мала (большая длина волны), то и электрон не сможет покинуть вещество, следовательно не совершится работа выхода. Эйнштейном назвал квант света фотоном. Стоит отметить, что фотон — это не абстрактная модель. Это действительно существующая частица, не имеющая массы покоя. Другими словами, фотон существует только в движении.

В 1923 году в трёх статьях «Волны и кванты», «Кванты света. Дифракция и интерференция», «Кванты, кинетическая теория газов и принцип Ферма» [1]. Луи де Бройль описал представления о корпускулярно-волновом дуализме материи, таким образом заложил фундамент для дальнейшего развития новой динамики частиц, которая получила название волновой механики. Корпускулярно-волновой дуализм — это физический принцип, утверждающий, что любой объект природы может вести себя и как частица, и как волна. Итак, мы знаем, что свету с частотой ϑ и длиной волны λ соответствуют частицы — фотоны, обладающие энергией E и импульсом p. Де Бройль, в сущности, постулировал обратное.

Гипотеза де Бройля. Движению каждой частицы соответствует распространение некоторой волны. Частота и длина этой волны определяются энергией и импульсом частицы:

$$\vartheta = \frac{E}{h},\ \lambda = \frac{h}{p}. \quad (1)$$

Точно так же, любой волне с частотой ϑ и длиной волны λ отвечают частицы с энергией $E = h\vartheta$ и импульсом $p = \frac{h}{\lambda}$. Несмотря на то, что свет обладает и волновыми, и корпускулярными свойствами, он не всегда проявляет их одновременно. Более сильное выражение тех или иных свойств зависит от условий. Корпускулярно-волновой дуализм нельзя объяснить только в рамках классической физики. Его можно описать лишь только в квантовой механике [2].

В 1801 году английским учёным Томасом Янгом был проведён эксперимент с двумя щелями. В основе эксперимента лежит идея прохождения света через ограниченное число щелей и наблюдения за образовавшейся интерференционной картиной. Эксперимент, проведенный Янгом, в котором тонкий луч света падал на стенку с двумя узкими щелями показан на рисунке 1. Интересный факт заключается в том, что когда свет падает на щели, он ведет себя не как поток частиц, а как волна. Это подтверждается тем, что после прохождения через щели, свет накладывает волны друг на друга, создавая полосы интерференции. Полосы образуются из-за разности фаз волн, которые проходят через разные щели.

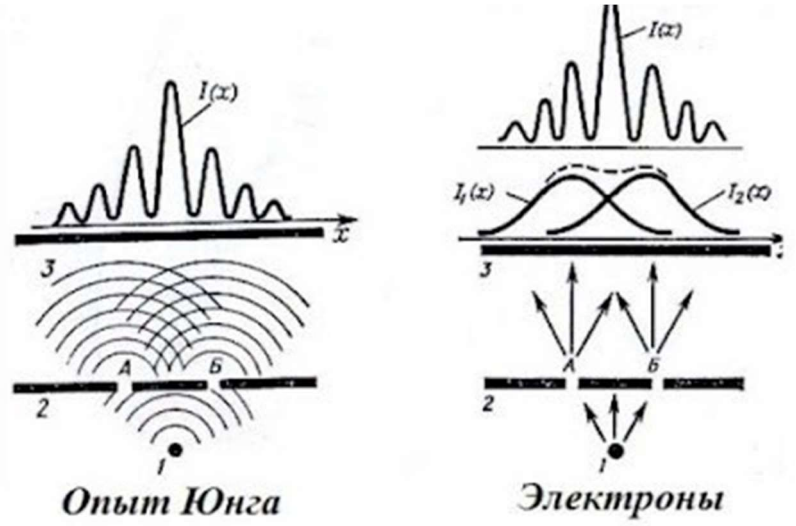


Рисунок 1 — Прохождение фотонов и микрочастицы через две щели

Итак, в результате углубления представлений о природе света, выяснилось, что свет обладает двойственной природой. Спор волновой и корпускулярной теорий света не привел ни к окончательной победе, ни к поражению какой-либо одной из них.

Некоторые примеры, где корпускулярно-волновой дуализм находит применение в современных технологиях:

1.Полупроводниковые устройства.

В основе работы полупроводников лежат квантово-механические эффекты, включая поведение электронов как волн. Это позволяет создавать транзисторы, диоды и другие элементы микроэлектроники, которые используются в компьютерах, смартфонах и другой цифровой технике.

2. Оптоэлектроника и лазеры.

Работа лазеров основана на взаимодействии фотонов с атомами, что приводит к эффекту вынужденного излучения, а фотонные устройства включают оптоволоконные системы связи и фотонные чипы, в которых свет проявляет как волновую, так и корпускулярную природу.

3. Космические технологии.

Например, интерферометрические телескопы используют волновую природу света для получения высокоточных изображений. Квантовые эффекты, связанные с корпускулярно-волновым дуализмом, учитываются при разработке детекторов частиц и других приборов.

4. Нанотехнологии.

Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ) и атомно-силовая микроскопия (АСМ) используют квантовые явления, такие как туннелирование электронов, зависящие от корпускулярно-волновой природы.

5.Электронная микроскопия.

Электронные микроскопы используют пучки электронов для получения изображений объектов с высоким разрешением.

6. Медицинская диагностика.

Рентгеновские аппараты и компьютерная томография используют рентгеновское излучение, которое проявляет одновременно и волновую, и корпускулярную природу. Это позволяет визуализировать внутренние органы и ткани человеческого тела.

Последствия корпускулярно-волнового дуализма в современной физике глубоки. Эта концепция бросает вызов нашему традиционному пониманию природы реальности. Эта идея поднимает вопросы о самой природе материи и ее отношении к пространству и времени. Это побудило некоторых физиков изучить альтернативные интерпретации квантовой механики. В конечном счете, философские последствия корпускулярно-волнового дуализма напоминают нам, что наше понимание Вселенной постоянно развивается и что мы еще многого не знаем о природе реальности.

Список использованных источников:

1. де Бройль Л. Избранные научные труды. — М: Логос, 2010. — Т. 1, С. 193—201.

2. Гальцов Д. В. Корпускулярно-волновой дуализм // Физический энциклопедический словарь. — под ред. А. М. Прохорова — М., Большая Российская энциклопедия, 2003. — Тираж 10000 экз. — с. 312

КВАНТОВЫЕ ТОЧКИ, ИХ ПРИМЕНИМОСТЬ И СВОЙСТВА

Муравьёв Д.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Григорьев А.А. – канд. физ.-мат. наук, доцент

Нанокристаллы размером 2-10 нанометров обладают уникальными оптическими и электронными свойствами, что делает их перспективными для различных приложений. Они находят применение в оптоэлектронике, включая светодиоды и лазеры, что улучшает качество изображения на экранах мобильных устройств и телевизоров. Также эти наноструктуры повышают эффективность солнечных элементов и используются в биомедицине как флуоресцентные метки. В микроэлектронике они могут интегрироваться в транзисторы. Исследования в этой области продолжаются, открывая новые технологии и возможности для применения в энергетике и медицине.

Квантовые точки (КТ) – нанокристаллы с размером в диапазоне 2-10 нанометров, состоящие из атомов, созданные на основе неорганических полупроводниковых материалов, покрытых монослоем органических молекул, играющих роль стабилизатора. Схематическое изображение квантовой точки приведено на рисунке 1. Квантовая точка представляет собой фрагмент проводника или полупроводника (например CdTe, CdS, CdSe, ZnSe, ZnS и др.), носители заряда которого ограничены в пространстве по всем трем направлениям [1]. Квантовыми их назвали потому, что при столь малых размерах в них проявляются квантовые, то есть, дискретные, свойства электронов. Физические свойства кристаллов сверхмалых размеров могут принципиально отличаться от массивных кристаллов, например вещество с металлическими свойствами только за счет уменьшения размеров может перейти в диэлектрическое состояние.

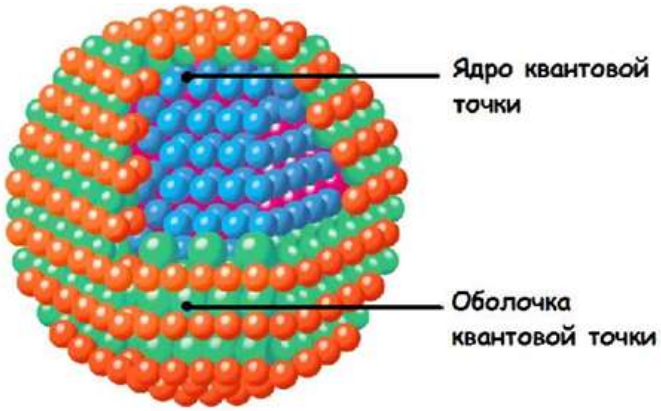


Рисунок 1 – Модель квантовой точки

Квантовые точки обладают уникальными физическими свойствами, которые зависят от их размеров, формы, состава и структуры. Эти характеристики делают их важными для различных приложений в науке и технике.

Одним из ключевых свойств квантовых точек является их способность к люминесценции. При возбуждении нанокристаллы способны излучать свет, а их оптические характеристики могут быть изменены в зависимости от размеров. Это позволяет получать свет различных цветов. Более крупные КТ диаметром 5-6 нм излучают более длинные волны таких цветов, как оранжевый или красный. КТ меньшего размера (2-3 нм) излучают более короткие волны, создавая синий и зелёный свет. Однако конкретные цвета также зависят от точного химического состава КТ.

Еще одним важным параметром является квантовый выход, который определяет, насколько эффективно квантовые точки преобразуют поглощенную энергию в световое излучение. Он измеряет долю фотонов, которые излучаются по сравнению с количеством поглощенной энергии. Формально, квантовый выход можно выразить как отношение числа излученных фотонов к числу поглощенных. Этот параметр имеет большое значение для оценки производительности квантовых точек в различных оптических устройствах, таких как светодиоды, лазеры и флуоресцентные маркеры. Высокий квантовый выход указывает на то, что большая часть поглощенной энергии преобразуется в свет, что делает устройство более экономичным.

Также к физическим характеристикам относится квантовая эффективность. Это показатель, измеряющий, насколько эффективно квантовые точки излучают свет по сравнению с поглощенной энергией. Она определяется отношением числа излученных фотонов к количеству носителей заряда, участвующих в процессе. Основные факторы, влияющие на квантовую эффективность, включают радиативную рекомбинацию, при которой электроны и дырки испускают фотон, и нерадиативную рекомбинацию, которая приводит к потере энергии в виде тепла. Кроме того, процессы рассеяния могут снижать количество фотонов, достигающих наблюдателя. Высокая квантовая эффективность критически важна для создания ярких и эффективных оптических устройств, таких как светодиоды и лазеры [2].

Электронные свойства квантовых точек включают размерный квантовый эффект и кулоновское взаимодействие. При уменьшении размеров квантовых точек до наномасштаба проявляется размерный квантовый эффект, который влияет на дискретизацию энергетических уровней электронов и дырок. Это изменение приводит к изменению запрещенной зоны и спектра излучения, что позволяет настраивать оптические свойства материалов для применения в оптоэлектронике и фотонике. Кроме того, в ограниченном объеме квантовых точек усиливается кулоновское взаимодействие между электронами и дырками, что изменяет электронную структуру и влияет на эффективные массы носителей заряда.

Квантовые точки находят широкое применение в различных областях. В первую очередь, они используются в оптоэлектронике. Квантовые точки применяются в светодиодах (LED) и лазерах, обеспечивая яркое и насыщенное светоизлучение. Способность КТ точно преобразовывать и настраивать спектр делает их привлекательными для ЖК-дисплеев. Предыдущие ЖК-дисплеи могли тратить энергию на преобразование плохого красно-зелёного и насыщенного сине-жёлтого белого света в более сбалансированное освещение. Благодаря использованию КТ на экране содержатся только необходимые цвета для идеального изображения. В результате экран стал ярче, чётче и энергоэффективнее. Также КТ-светодиоды могут быть изготовлены на кремниевой подложке, что позволяет интегрировать их в стандартные кремниевые интегральные схемы.

Нанокристаллы могут повысить эффективность и снизить стоимость сегодняшних типичных кремниевых фотоэлектрических элементов. Способность квантовых точек поглощать широкий спектр световых волн позволяет улучшить выход энергии, что делает их перспективными для использования в возобновляемых источниках энергии.

Также квантовые точки находят применение в биомедицинских исследованиях в качестве флуоресцентных меток. Ведь они превосходят традиционные органические красители по нескольким параметрам, одним из наиболее очевидных из которых является яркость (благодаря высокому коэффициенту поглощения в сочетании с сопоставимым квантовым выходом с флуоресцентными красителями), а также их стабильность. Было подсчитано, что квантовые точки в 20 раз ярче и в 100 раз более стабильны, чем традиционные флуоресцентные репортеры. Нерегулярное мерцание квантовых точек при отслеживании одиночных частиц является незначительным недостатком. Также исследуются возможности использования квантовых точек в целевой терапии и доставке лекарств благодаря их способности модифицироваться для специфического связывания с клетками. Это открывает новые горизонты в лечении различных заболеваний.

В микроэлектронике квантовые точки могут использоваться в транзисторах и других компонентах, обеспечивая высокую производительность и малый размер. Исследуются также их возможности в квантовых вычислениях, где они могут выступать в роли кубитов благодаря своим квантовым свойствам.

Глубокие исследования и разработки в области квантовых точек имеют большое значение для науки и промышленности. Учёные активно работают над новыми методами синтеза, улучшением характеристик и поиском новых областей применения квантовых точек, способствуя их интеграции в современные технологии. Наиболее изучены квантовые точки на основе селенида кадмия. Но с появлением законодательных актов об ограничении применения опасных веществ в изделиях электротехники и радиоэлектроники, ограничивающих использование материалов на основе тяжёлых металлов, технологии стали развиваться в сторону производства квантовых точек, не содержащих кадмий. Дальнейшие исследования в области квантовых точек могут привести к созданию более эффективных и инновационных технологий, которые будут иметь значительное влияние на нашу повседневную жизнь, медицину, энергетику, информационные технологии и многие другие области.

Список использованных источников:

1. Грибкова, Н.С. Полупроводниковые коллоидные квантовые точки: учеб. пособие / Н.С. Грибкова, В.И. Лесняк.–Ростов-на-Дону: Южный федеральный ун-т, 2017. – 31 с.

2. Бричкин, С.Б. Коллоидные квантовые точки: синтез, свойства, применение / С.Б. Бричкин, В.Ф. Разумов. // Успехи химии, 2016.—С.1297-1312

УДК 524.882

ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ: ТЕРМОДИНАМИКА, ИЗЛУЧЕНИЕ ХОКИНГА

Ляшко М.С.[1], Левоненко Ю.И.[1], студенты гр. 418702

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники[1]
г. Минск, Республика Беларусь

Дорошевич И.Л. – канд. физ.-мат. наук, доцент

Аннотация. В данной работе рассматривается тема чёрных дыр, а также путь их образования. Освещены термодинамические свойства чёрных дыр, включая теорему об отсутствии волос, законы механики чёрных дыр и излучение Хокинга.

Ключевые слова: чёрная дыра, горизонт событий, гравитационный радиус, излучение Хокинга, теорема об отсутствии волос, термодинамика чёрных дыр, энтропия, космологические процессы.

Чёрная дыра – область пространства, в которой гравитационное притяжение настолько сильно, что ни вещество, ни излучение не могут эту область покинуть. Для находящихся там тел вторая космическая скорость должна была бы превышать скорость света, что невозможно, поскольку ни вещество, ни излучение не могут двигаться быстрее света. Поэтому из черной дыры ничто не может вылететь. Границу области, за которую не выходит свет, называют «горизонтом событий», или просто «горизонтом» черной дыры.

Чтобы поле тяготения смогло «запереть» излучение, создающая это поле, масса (M) должна сжаться до объема с радиусом, меньшим «гравитационного радиуса» $r_g = \frac{2Gm}{c^2}$.Значение гравитационного радиуса чрезвычайно мало по сравнению с привычным размером физических тел. Например, для Солнца с массой около $2 * 1030$кг и радиусом около 700 тыс. км значение r_g 3 км. А для Земли ($M = 6 * 10^{24}$ кг) значение r_g 1 см.

Очевидный путь образования черной дыры – коллапс ядра массивной звезды. Пока в недрах звезды не истощился запас ядерного топлива, ее равновесие поддерживается за счет термоядерных реакций (превращение водорода в гелий, затем в углерод, и т.д., вплоть до железа у наиболее массивных звезд) [1].

Термоядерные реакции поддерживают высокое давление в недрах звезды, препятствуя ее сжатию под действием собственной гравитации. Но со временем ядерное топливо истощается и звезда начинает сжиматься. Наиболее быстро сжимается ядро звезды и нагревает окружающую его оболочку. В итоге звезда теряет свои наружные слои. Расчеты показывают, что масса ядра звезды не превосходит трех масс Солнца; его сжатие будет остановлено давлением вырожденного вещества, и звезда превратится в белый карлик или нейтронную звезду. Но если масса ядра звезды более трех солнечных, то оно быстро уйдет под горизонт событий, став черной дырой. Как следует из формулы для r_g, черная дыра с массой 3 солнечных имеет гравитационный радиус 8,8 км [2].

Млечный Путь может содержать более 100 миллионов черных дыр, хотя обнаружить их очень сложно. В центре Млечного Пути находится сверхмассивная черная дыра – Стрелец A*. Колоссальная структура примерно в 4 миллиона раз превышает массу Солнца и находится примерно в 26000 световых лет от Земли, согласно заявлению НАСА. Первой обнаруженной черной дырой стала Лебедь-X1. Ближайшая к Земле черная дыра называется «Единорог» и находится примерно в 1500 световых годах от нас. Прозвище имеет двойное значение. Мало того, что черная дыра находится в созвездии Единорога, ее невероятно низкая масса – примерно в три раза больше массы Солнца – делает ее почти единственной в своем роде [3].

Теорема об отсутствии волос утверждает, что все чёрные дыры описываются решением гравитационных и электромагнитных уравнений Эйнштейна-Максвелла в общей теории относительности и вполне могут характеризоваться только тремя внешне наблюдаемыми классическими параметрами: массой, электрическим зарядом и угловым моментом. Вся другая информация (для которой «волосы» являются метафорой) о материи, которая образовала черную дыру, или поглощается ею, исчезает за горизонтом событий чёрной дыры, следовательно, постоянно недоступна для внешнего наблюдения.

Джон Уилер однажды обронил фразу, что «у чёрных дыр нет волос», от которой и произошло название теоремы. Фраза подразумевает, что две чёрные дыры с одинаковой массой, зарядом и моментом вращения между собой неразличимы, как две лысины. Также Бекенштейн обратил внимание, что при поглощении вещества чёрная дыра становится больше и тяжелее, соблюдая первый закон термодинамики (закон сохранения энергии), а значит, она не должна нарушать и второго закона. Попадая в чёрную дыру, энтропия вещества не обнуляется: она переходит в увеличение площади горизонта. В итоге Бекенштейн вывел так называемый «закон площадей»: энтропия чёрной дыры пропорциональна площади её горизонта событий.

В 1970 г. аспирант Уилера в Принстонском университете Деметриус Христодулу и Стивен Хокинг из Кембриджского университета независимо друг от друга доказали, что при слиянии чёрных дыр общая площадь горизонта событий никогда не уменьшается: площадь горизонта новой чёрной дыры будет больше или равна суммарной площади двух исходных горизонтов, а одна большая чёрная дыра не может распасться на две меньшие.

В 1973 г. Стивен Хокинг провёл аналогию между законами механики чёрных дыр и законами термодинамики. Оказалось, что эти законы практически совпадают. Для чёрной дыры энергия пропорциональна массе, энтропия – площади горизонта событий, а температура – поверхностной гравитации. Первое начало термодинамики (закон сохранения энергии) соответствует формуле массы чёрной дыры, которая пропорциональна радиусу горизонта событий и угловому моменту. Второе начало термодинамики проявляется в том, что энтропия, как и площадь горизонта событий, либо увеличивается, либо остаётся постоянной. Третье начало термодинамики говорит о температуре, при которой энтропия достигает минимума – абсолютный ноль по Кельвину. У чёрной дыры роль температуры играет поверхностная гравитация. Нулевое начало термодинамики (если две системы находятся в тепловом равновесии с третьей, то они находятся в тепловом равновесии друг с другом) для чёрных дыр звучит так: «на горизонте событий стационарной чёрной дыры значение поверхностной гравитации повсюду одинаково».

До сих пор нет строгого математического доказательства теоремы об отсутствии волос. Даже в случае учёта одной гравитации (например, нулевые электрические поля) гипотеза была частично решена в работах Стивена Хокинга, Брэндона Картера и Девида Робинсона [4].

В 1974 г. Стивен Хокинг сделал одно из важнейших своих предсказаний: что черные дыры способны полностью испаряться. Согласно гипотезе Хокинга, черные дыры не являются идеально «черными», а способны испускать частицы. Это излучение, считал британский физик, уносит с собой энергию и массу черной дыры, поэтому через определенное время черная дыра исчезает полностью [5].

Стивен Хокинг описал предсказанное им испарение чёрных дыр следующим образом: чёрная дыра поляризует вакуум своей гравитацией. Две виртуальные частицы, рождённые по разные стороны от горизонта событий, уже не смогут аннигилировать. Одна из них падает в чёрную дыру, а вторая становится реальной и улетает в космос в виде излучения Хокинга. Суммарная энергия виртуальных частиц всегда равна нулю. Если улетевшая частица получила положительную энергию, значит, у провалившейся под горизонт энергия будет отрицательной. В результате чёрная дыра потеряет массу, эквивалентную энергии излучения Хокинга. Чёрная дыра имеет положительный или отрицательный заряд, она также будет поляризовать вакуум на частицы и античастицы.

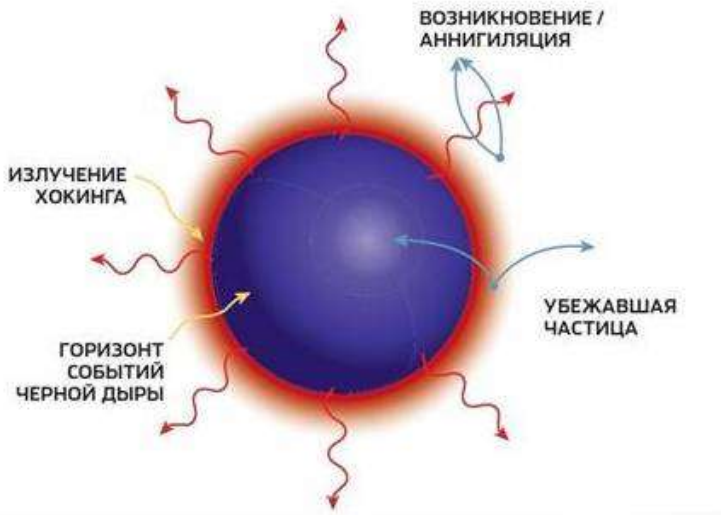


Рисунок 1 – Упрощённое объяснение излучения Хокинга – разрыв горизонтом событий пары виртуальных частиц

Массивные чёрные дыры излучают низкоэнергетичные радиофотоны, теряющиеся в космическом микроволновом фоне. А микроскопические чёрные дыры при испарении могут излучать и тяжёлые частицы высоких энергий, поэтому на финальных стадиях распада они буквально взрываются. Интенсивность излучения Хокинга совпадает с температурой чёрной дыры, предсказанной Бекенштейном, что является убедительным аргументом в пользу термодинамического подхода к описанию чёрных дыр. И главное: расчёты Хокинга показали, что чёрные дыры не вечны – они испаряются [6].

Температура чёрной дыры обратно пропорциональна её массе, а время полного испарения чёрной дыры пропорционально кубу её массы. Если нормальные физические объекты от потери энергии охлаждаются, то чёрные дыры наоборот – нагреваются. Чем меньше чёрная дыра, тем сильнее у неё поверхностная гравитация и тем больше она излучает энергии. Температура чёрной дыры планковских размеров составляет порядка 10^{32} градусов, а время жизни – доли секунды, этим она похожа на массивную элементарную частицу, которая называется максимон. Такую чёрную дыру можно получить искусственным путём, если сконцентрировать в одной точке энергию, эквивалентную планковской массе. Но, чтобы придать частице столько энергии (порядка 10^{26} Эв), понадобится ускоритель длиной несколько миллионов световых лет. Чёрные дыры побольше испаряются уже не так быстро. За время существования нашей Вселенной – порядка 10^{10} лет – могли испариться только первичные чёрные дыры массой до 10^{12} кг.

Температура чёрной дыры массой 10^{14} кг – примерно как у горы Эверест – оказывается ниже температуры космического фонового излучения (2,7 K), а значит, она будет поглощать больше энергии, чем испускать. Типичные чёрные дыры звёздной массы имеют температуру меньше миллионной доли кельвина. Они начнут испаряться когда температура реликтового излучения упадёт почти до нуля вследствие расширения Вселенной. Общая продолжительность их жизни составит порядка 10^{66} лет. В конце любую чёрную дыру ожидает эффектный взрыв, который рассеет остатки поглощённого ею вещества. За последнюю секунду чёрная дыра излучает $2{,}05 * 10^{22}$ Дж энергии, что равно 5 млн мегатонн в тротиловом эквиваленте [7].

Стивен Хокинг так и не получил Нобелевскую премию за своё открытие, потому что испарение чёрных дыр практически невозможно подтвердить экспериментальным путём. Длина волны излучения Хокинга соответствует диаметру чёрной дыры, а частота настолько низкая, что ни один телескоп не способен его обнаружить на фоне реликтового излучения. Кроме фотонов, чёрная дыра также может излучать электроны, позитроны, нейтрино и другие частицы, но это происходит лишь на финальной стадии испарения.

Чёрные дыры представляют собой уникальные и необычные объекты с непривычными свойствами. Несмотря на значительный прогресс в их изучении, природа пространства и времени в окрестности чёрных дыр остаётся загадкой. Некоторые аспекты этой проблемы до сих пор кажутся необычными научными явлениями, интересными лишь для специалистов.

Список использованных источников:

1. *И.Новиков . Черные дыры и Вселенная. М., "Молодая гвардия", 1985 г.*
2. *Белые карлики и нейтронные звезды (научная статья) https://djvu.online/file/5uWKfaSl2YTH3?ysclid=m8hm8jv231361375555.*
3. *Черные дыры: все, что вам нужно знать 18 июля 2023. https://dzen.ru/a/ZLZ6IB-xpEwV1vEM?ysclid=m8hmuoqrzc961741819.*
4. *Научно-популярное издание «Космос. Большая энциклопедия». – ЭКСМО 2018 г.*
5. *Хокинг был прав: Черные дыры испаряются, показывает новый эксперимент https://pikabu.ru/story/khoking_byil_prav_chernyie_dyiryi_isparyayutsya_pokazyivaet_novyiy_yeksperiment_6758155?ysclid=m8h8ik0ew5650560295.*
6. *Термодинамика чёрных дыр. Энтропия Бекенштейна-Хокинга, комплементарность Сасскинда и дуальность Малдасены https://habr.com/ru/articles/861512/.*

UDC 524.882

BLACK HOLES: THERMODYNAMICS, HAWKING RADIATION

Lyashko M.S.[1], Levonenko Y.I.[1]

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics[1], Minsk, Republic of Belarus

Doroshevich I.L. – PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor

Annotation. This paper discusses the topic of black holes, as well as the path of their formation. The thermodynamic properties of black holes are highlighted, including the no-hair theorem, the laws of black hole mechanics, and Hawking radiation.

Keywords. Black hole, event horizon, gravitational radius, Hawking radiation, no hair theorem, thermodynamics of black holes, entropy, cosmological processes.

ФРАКТАЛЬНАЯ РАЗМЕРНОСТЬ КРУПНОМАСШТАБНОЙ СТРУКТУРЫ ВСЕЛЕННОЙ

Хоменков Р.А., гр. 451001

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь
Иванов М.А. – канд. физ.-мат. наук, доцент

Исследование фрактальной размерности крупномасштабной структуры Вселенной позволяет оценить степень самоподобия распределения галактик. В работе анализируется применение фрактальных методов к данным наблюдений, включая корреляционный анализ. Результаты указывают на фрактальную природу распределения галактик вплоть до масштабов ~100 Мпк, с возможным переходом к гомогенности на больших расстояниях.

Фрактал – множество, обладающее свойством самоподобия. Пример простейшего фрактала: треугольник Серпинского. Чтобы его получить необходимо взять равносторонний треугольник, провести в нем средние линии, разделив его на четыре подобных треугольника и удалить тот, который находится в центре. Дальше эти же действия необходимо повторить с каждым из оставшихся треугольников до бесконечности.

Фракта́льная размерность — один из способов определения размерности множества в метрическом пространстве. Фрактальную размерность n-мерного множества можно определить с помощью формулы:

$$D = \frac{lnN_\varepsilon}{ln\varepsilon},$$

где N_ε – минимальное число n-мерных «шаров» радиуса ε, необходимых для покрытия множества. На рисунке 1 представлен Срез данных обзора Sloan Digital Sky Survey с радиусом, соответствующим красному смещению z = 0.15, содержащий около 400000 галактик.

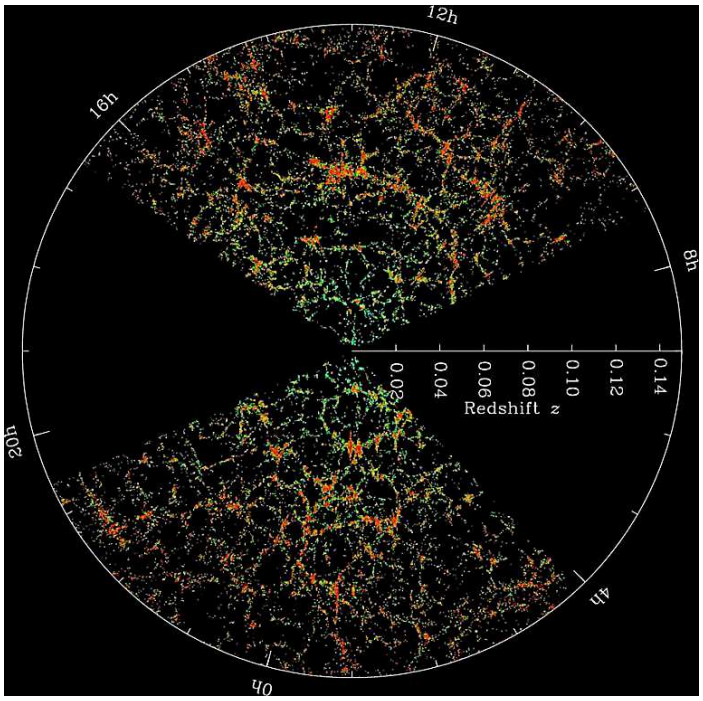


Рис. 1. Срез данных обзора Sloan Digital Sky Survey

В 1980-х годах Бенуа Мандельброт (Benoit Mandelbrot) предложил фрактальную модель для описания крупномасштабной структуры Вселенной. Он утверждал, что распределение галактик может быть самоподобным, то есть иметь одинаковую структуру на разных масштабах [1]. Эта идея получила развитие в работах Пьетронеро и Силоса Лабини (Pietronero, Sylos Labini, 1998), которые показали, что фрактальная размерность D может быть использована для количественного описания распределения галактик.

Современные исследования, такие как Слоановский цифровой обзор неба (SDSS), предоставляют данные о миллионах галактик, что позволяет уточнить фрактальные параметры. Однако интерпретация

этих данных остается предметом дискуссий из-за методологических ограничений и сложности учета наблюдательных смещений.

Ключевой метод анализа — изучение зависимости числа галактик N(r) в сфере радиуса r. Для фрактала:

$$N(r) \propto r^D,$$

где D – фрактальная размерность.

Для минимизации систематических ошибок используются объемно-ограниченные выборки (Volume-Limited Samples), где учитываются только галактики с абсолютной светимостью выше определенного порога. Это позволяет исключить влияние наблюдательной селекции.

На рисунке 2 приведена зависимость плотности распределения галактик от масштаба, для которой справедлив степенной закон:

$$1 + \xi(r) \propto r^{D-3}$$

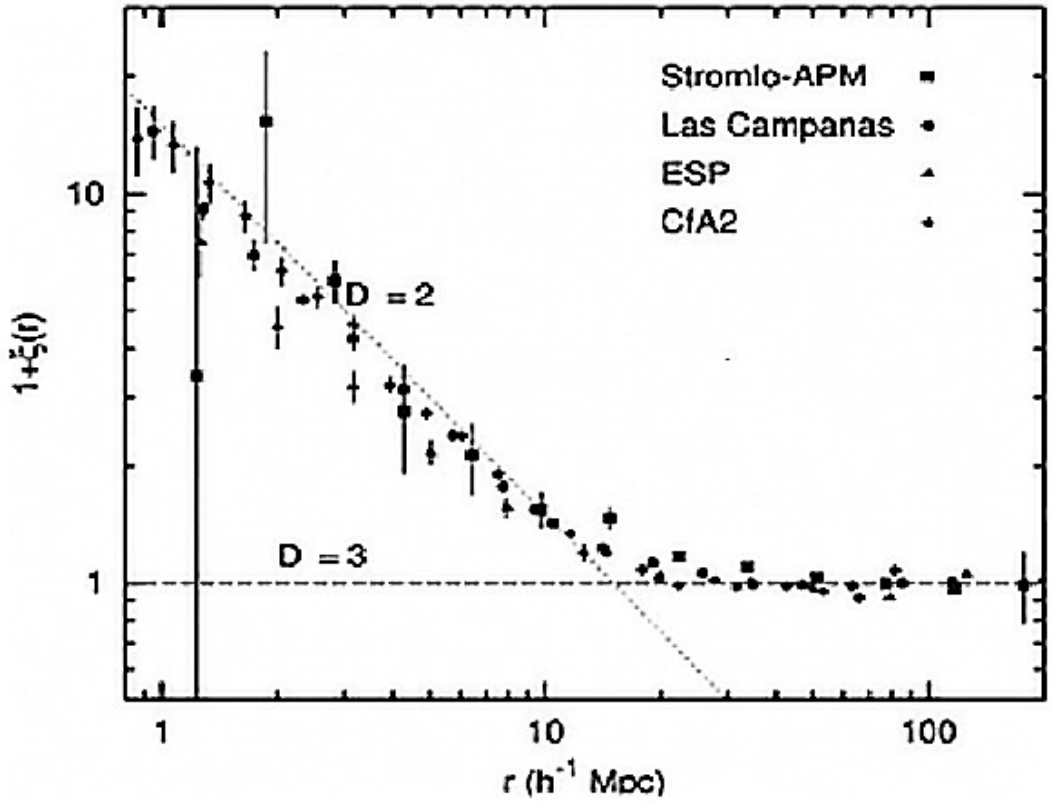


Рис. 2. Зависимость плотности распределения галактик от масштаба

На малых масштабах (< 5 Мпк) распределение галактик демонстрирует ярко выраженную фрактальную структуру с размерностью D ≈ 1.2 − 1.5. На масштабах 50-100 Мпк наблюдается переход к D ≈ 2, при этом на масштабах > 100 Мпк фрактальная размерность приближается к D ≈ 3, что интерпретируется как переход к гомогенности [2]. Однако глубина современных обзоров (например, SDSS) недостаточна для однозначных выводов. Основная проблема заключается в селекции яркости: на больших расстояниях в выборку попадают только самые яркие галактики, что искажает оценку.

Фрактальный анализ подтверждает неоднородность Вселенной на масштабах до 100 Мпк. Для проверки перехода к гомогенности необходимы обзоры с R_s > 500 Мпк.

Список использованных источников:

1. Mandelbrot B., et al. The Fractal Geometry of Nature. N.Y.: Freeman, 1983.
2. Jones B. J.T. et al. Reviews of Modern Physics. 2004. Vol. 76. P. 121.

УДК 621.382.33:621.3.017.71-042.3

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА РАБОТУ КРЕМНИЕВЫХ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

Иванов В.Д., студент гр.468405, Карасик В. Б.[1], студент гр.468405

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники[1]
г. Минск, Республика Беларусь

Храмович Е.М. – канд. физ.-мат. наук

Аннотация. Целью статьи является экспериментальное исследование влияния температуры на статические характеристики кремниевого биполярного транзистора КТ315В (n-p-n). Значимость исследования обусловлена необходимостью достижения термостабильности в электронных приборах, работающих в неблагоприятных температурных условиях. В ходе исследования предполагается создать прибор для измерения параметров транзистора: коэффициента усиления по току, тока коллектора и напряжения база-эмиттер в диапазоне температур от +25°C до +120°C. Для проведения исследования будут использованы мультиметры, блок питания, резисторы и управляемый источник нагрева. Полученные результаты показывают степень изменения параметров транзистора от температурных условий и рекомендации по совершенствованию схемотехнических решений с целью повышения надежности приборов на основе модели КТ315В..

Ключевые слова. Биполярный транзистор, КТ315В, температурная зависимость, коэффициент усиления по току, ток коллектора, напряжение база-эмиттер, экспериментальное исследование, термостабильность, дрейф параметров, кремниевый транзистор, n-p-n, схемотехника.

Стабильность и надежность оборудования тесно связаны с температурными условиями, которым подвергаются компоненты. Полупроводниковые компоненты, и в частности биполярные транзисторы, обладают высокой чувствительностью к изменениям температуры, что может привести к колебаниям их электрических параметров. Вследствие этого может возникнуть нестабильность схемы, изменяются рабочие точки, что в некоторых случаях может привести к полному отказу оборудования.. Хотя теоретические температурные зависимости биполярных транзисторов хорошо известны [1, 2], поведение конкретных транзисторов может меняться в результате сложности процессов изготовления и разброса параметров. Целью данного исследования является экспериментальное изучение влияния температуры на основные статические параметры кремниевого биполярного n-p-n транзистора, вроде коэффициент усиления по току в схеме с общим эмиттером ($\mathbf{h_{FE}}$), ток коллектора (**Ic**) и напряжение база-эмиттер ($V_{\mathbf{BE}}$).

Задачи исследования:

1. Собрать экспериментальную установку для измерения параметров транзистора при контролируемой температуре.
2. Провести измерения указанных характеристик транзистора КТ315В в заданном диапазоне температур от +25°C до +125°C.
3. Обработать полученные экспериментальные данные и построить графики температурных зависимостей.
4. Сделать выводы на основе полученных графиков и данных об измерениях параметров транзистора в зависимости от температуры.

В своей работе мы использовали кремниевый биполярный транзистор КТ315В. Основные характеристики транзистора КТ315В приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики транзистора КТ315В [3]

Наименование	Значение	Единица измерения
Тип	n-p-n	-
Максимально допустимое напряжение коллектор-эмиттер $V_{\mathbf{CE}}$ (max)	40	В
Максимальный ток коллекторам $I_{\mathbf{C}}$ (max)	100	мА
Коэффициент усиления по току (min) ($h_{\mathbf{FE}}$ (min))	30	-
Коэффициент усиления по току (max) ($h_{\mathbf{FE}}$ (max))	120	-

Для исследования влияния температуры на работу кремниевого транзистора КТ315В были измерены такие параметры, как ток коллектора (Ic), напряжение база-эмиттер ($\mathbf{V_{BE}}$) и напряжение коллектора (**Vc**). Схема экспериментальной установки представлена на рисунке 1, а

экспериментальная установка - на рисунке 2. Оборудование состоит из транзистора КТ315В, трех мультиметров, настроенных для необходимых измерений, источника питания, двух резисторов 1 кОм, одного резистора 390 Ом, фена в качестве источника тепла, термометра и проводов. Транзистор подвергался воздействию температур 25°C, 50°C, 75°C, 100°C и 120°C. Полученные результаты приведены в таблице 2. Графическое представление температурных характеристик транзистора КТ315В представлено на рисунке 3.

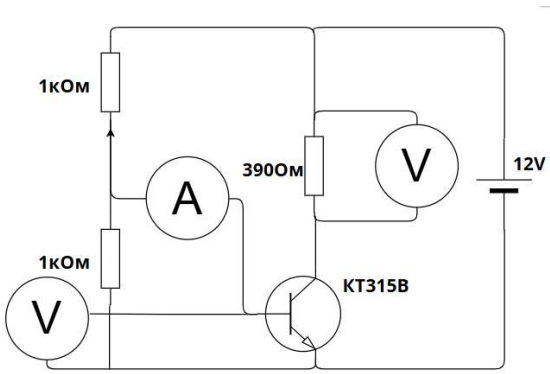


Рисунок 1 - Схема экспериментальной установки

Таблица 2 – ВАХ биполярного кремниевого транзистора КТ315В в различных температурах

Температура (T, °C)	Ток коллектора (I_C, мкА)	Напряжение База-эмиттер (V_{BE}, В)	Напряжение на коллекторе (V_C, В)
25	30	0.7	6
50	35.2	0.65	4.9
75	40.6	0.6	3.8
100	45.8	0.55	2.8
120	50	0.51	2

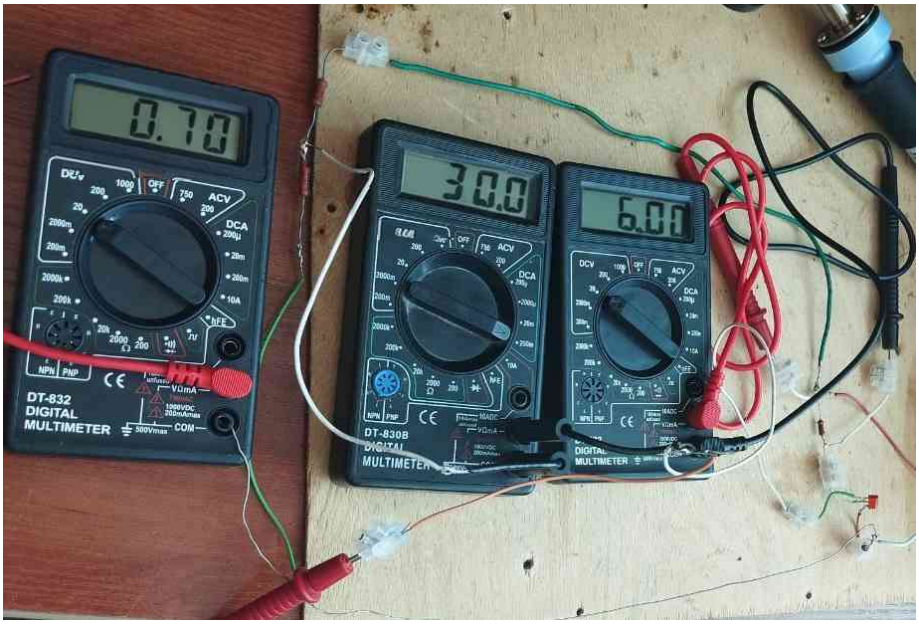


Рисунок 2 – Фотография экспериментальной установки

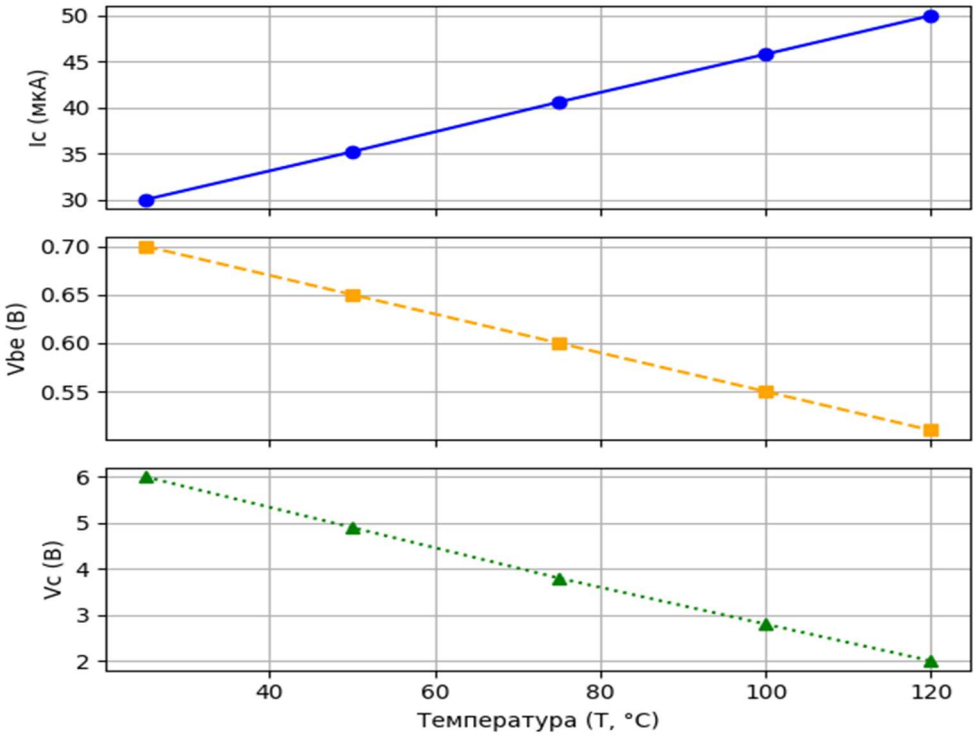


Рисунок 3 – Графики зависимости I_C, V_{BE} и I_C от температуры

В активной области КТ315В ток коллектора (I_C) в основном контролируется напряжением база-эмиттер (V_{BE}) и связан с током насыщения (I_S) приблизительным уравнением:

$$I_C \approx I_S \cdot expexp\left(\frac{n \cdot V_{BE}}{V_T}\right), \quad (1)$$

где I_C – ток коллектора; I_S – ток насыщения; V_{BE} – напряжение база-эмиттер; **n** – коэффициент идеальности; V_T – тепловое напряжение.

Эта зависимость, взятая уравнения Шокли, учитывает усилительное действие транзистора, усиливая экспоненциальную природу I_C по отношению к V_{BE} вместе с его прямой пропорциональностью I_S, V_{BE} и I_S сильно зависят от температуры. Переход база-эмиттер биполярного транзистора n-p-n при прямом смещении в активном режиме можно рассматривать как диод. Зависимость тока от напряжения на этом переходе можно принципиально выразить с помощью уравнения диода Шокли::

$$I_D = I_S \cdot \left(expexp\left(\frac{n \cdot V_D}{V_T}\right) - 1\right), \quad (2)$$

где I_D – ток диода; I_C - ток обратного насыщения (или масштабный ток); V_D - напряжение на диоде; **n** - коэффициент идеальности (обычно от 1 до 2, в зависимости от технологического процесса и материала); V_T - тепловое напряжение.

$$I_B = I_S \cdot \left(expexp\left(\frac{n \cdot V_{BE}}{V_T}\right) - 1\right) \quad (3)$$

Тепловое напряжение V_T прямо пропорционально абсолютной температуре и задается формулой:

$$V_T = \frac{k \cdot T}{q}, \quad (4)$$

где ***k*** - постоянная Больцмана (приблизительно 1,38 × 10^{-23} Дж/К); **T** - абсолютная температура в Кельвинах; **q** - элементарный заряд (приблизительно 1,602 × 10^{-19} Кл).

Как было выяснено, для схемы с общим эмиттером и фиксированным смещением коллекторный ток (I_C) будет расти с ростом температуры [1,2]. Согласно уравнению V_C, когда I_C растет, а напряжение питания (V_{CC}) и сопротивление коллектора (R_C) остаются прежними, падение напряжения на R_C, т. е. $I_C * R_C$, также будет расти. Падение напряжения на R_C приведет к снижению коллекторного напряжения (V_C), поэтому в усилителе с общим эмиттером и резистивной нагрузкой коллекторное напряжение обычно уменьшается с ростом температуры, а коллекторный ток увеличивается. В текущих реалиях стабильность компонентов при экстремальных тепловых условиях занимает важное место. Эта работа была посвящена анализу влияния температуры на кремниевый биполярный транзистор КТ315В. Мы исследовали его работу в диапазоне температур от +25°C до +120°C и установили, что его основные свойства очень чувствительны к изменениям температуры. Эмпирически было установлено, что с ростом температуры ток коллектора значительно увеличивается (в проведенном эксперименте он увеличился с 30 мкА до 50 мкА при определенном смещении). Одновременно с этим уменьшается напряжение база-эмиттер (V_{BE}), необходимое для поддержания. Вместе с увеличением тока коллектора пропорционально уменьшается напряжение коллектора (V_C) в схеме с общим эмиттером и резистивной нагрузкой, которое в нашем эксперименте снизилось с 6,0 В до 2,0 В. Данные последствия вызваны процессами происходящими при нагревании транзистора: при нагревании усиливается генерация свободных носителей заряда (увеличивается ток насыщения I_S) и изменяется температурный потенциал V_T, что влияет на проводимость и характеристики p-n-перехода [1, 2]. Отмеченный дрейф параметров показывает, что при проектировании схем на КТ315В (и других БТ) нельзя упускать из виду фактор температуры. Этот параметр особенно важен для аппаратуры, работающей в широком диапазоне температур. Требуется тщательная проработка схемотехнической части, включая оптимизацию структур каскадного смещения для компенсации [1] температурных эффектов, а также тщательный выбор компонентов с гарантированным запасом температурной устойчивости. Полученные нами данные свидетельствуют о том, что температурный режим работы существенно влияет на работоспособность транзистора КТ315В. При проектировании надежных приборов необходимо использовать комбинированную методологию проектирования, включающую теоретический анализ температурных зависимостей и экспериментальную проверку параметров компонентов в реальных условиях эксплуатации.

Список использованных источников:

1. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника. 12-е изд. Том II: Пер. с нем. – М.: ДМК Пресс., 2009 – 942 с.

2. Пасынков В. В. Полупроводниковые приборы : учебное пособие для вузов / В. В. Пасынков, Л. К. Чиркин. — 11-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 480 с.

3. КТ315В Даташит - https://www.quartz1.com/price/PIC/415N0414914.pdf

UDC 621.382.33:621.3.017.71-042.3

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF TEMPERATURE ON THE OPERATION OF SILICON BIPOLAR JUNCTION TRANSISTORS

Ivanov V.D., Karasik V.B.[1]

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics[1], Minsk, Republic of Belarus

Khramovich E.M. – Ph.D. in Physics and Mathematics

Annotation. The study is aimed at the experimental analysis of the temperature effect on the static characteristics of the silicon bipolar transistor KT315V (n-p-n). The relevance of the work is due to the need to ensure thermal stability of electronic devices operating under extreme temperature conditions. The study plans to assemble a setup for measuring transistor parameters (current gain, collector current, base-emitter voltage in the temperature range from +25°C to +120°C. The methodology includes the use of multimeters, a power supply, resistors, and a controlled heating source. The results are expected to reveal the degree of transistor parameter drift under thermal influence, which will allow formulating recommendations for optimizing circuit solutions to improve the reliability of KT315V-based devices.

Keywords. Bipolar transistor, KT315V, temperature dependence, current gain, collector current, base-emitter voltage, experimental study, thermal stability, parameter drift, silicon transistor, n-p-n, circuitry.

УДК 621.382.2

P-N ПЕРЕХОД И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ

Бизюк Д.С., Тытуш Е.А. студенты гр.424403

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Солодухин И.А. – канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры физики

Аннотация. Данная работа посвящена исследованию p-n перехода – его структуры, принципов работы и ключевых характеристик. Рассмотрены основные области применения, включая диоды, солнечные элементы, биосенсоры и современные электронные устройства.

Ключевые слова. P-n переход, полупроводниковые приборы, диоды, солнечные элементы, преобразование энергии, электронная техника, прямое смещение, диффузия.

Определение.

Совершенное соединение двух полупроводниковых монокристаллов с разными типами проводимости, созданное методами диффузии, эпитаксии или другими технологическими процессами, образует p-n переход, также известный как электронно-дырочный переход. Этот переход играет важнейшую роль в функционировании полупроводниковых устройств благодаря своим свойствам.

Основы работы p-n перехода.

Ключевое значение для p-n перехода имеет структура энергетических зон полупроводников. В материалах p-типа валентная зона, содержащая дырки как основные носители заряда, практически полностью заполнена, в то время как зона проводимости остается почти пустой (рис. 1). Для n-типа валентная зона полностью заполнена электронами, а зона проводимости включает свободные электроны, являющиеся основными носителями заряда (рис. 2). Между этими зонами располагается запрещенная зона, ширина которой для кремния составляет 1.1 электронвольт. Именно этот параметр критически важен для работы перехода.

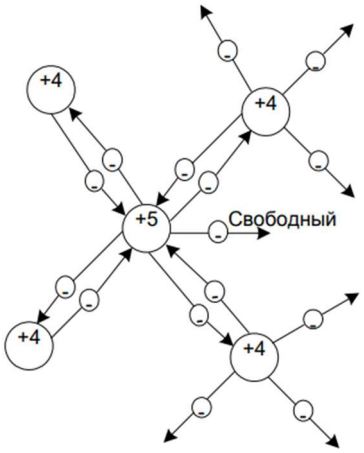


Рисунок 1 – Образование полупроводника n-типа

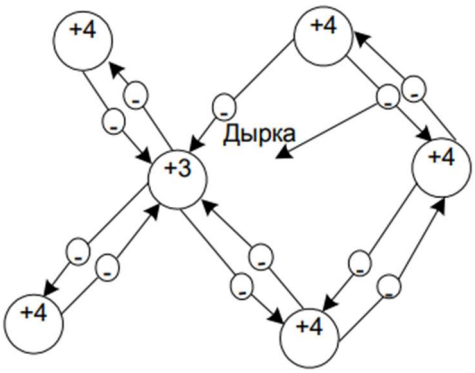


Рисунок 2 – Образование полупроводника p-типа

Создание проводящих областей.

Если в заранее очищенный расплав кремния или германия внести примесь элементов III группы (например, индия, галлия или бора), атомы примеси займут места атомов исходного полупроводника. Это приводит к созданию областей p-типа проводимости. Аналогично, добавление элементов V группы (например, фосфора, мышьяка) формирует области n-типа. Таким образом, в одной пластине полупроводника можно получить области с различными типами проводимости, что дает возможность сформировать p-n переход.

Динамика процессов в p-n переходе.

На границе перехода происходит диффузия: электроны из n-области переходят в p-область, оставляя в n-области неподвижные положительно заряженные ионы доноров. Одновременно дырки из p-области перемещаются в n-область, создавая отрицательный заряд за счет неподвижных ионов акцепторов. Это приводит к образованию слоя объемного заряда, обеднённого основными носителями, с противоположными зарядами по обе стороны перехода (рис. 3).

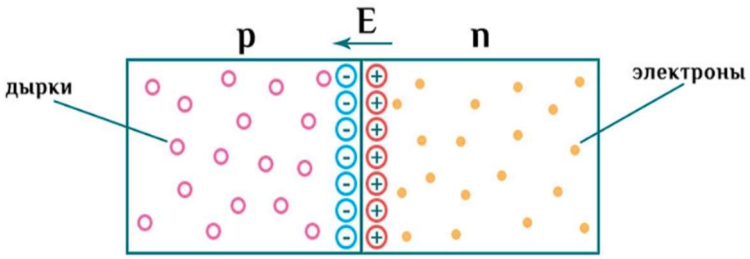


Рисунок 3 – Граница p-n перехода

Возникающее контактное электрическое поле препятствует дальнейшему движению основных носителей между областями. Это поле поддерживает состояние равновесия, при котором ток диффузии, вызванный тепловым движением носителей, и ток проводимости, обусловленный движением неосновных носителей, компенсируют друг друга.

Контактное поле и слои объемного заряда формируют барьерный слой, от которого зависит проводимость p-n перехода. Именно эти характеристики позволяют устройству функционировать как выпрямитель, транзистор или фотодиод в зависимости от приложенного внешнего напряжения.

Работа p-n перехода при внешнем напряжении.

Рассмотрим p-n переход, к которому приложено внешнее напряжение. Если напряжение имеет прямую полярность (p-область положительна относительно n-области), оно называется прямым смещением. В этом случае внешнее поле ослабляет внутреннее контактное поле перехода, что приводит к снижению потенциального барьера. В результате через переход начинают активно течь электроны из n-области и дырки из p-области. Их встречное движение создает значительный ток даже при небольшом напряжении (менее 1 В).

Принцип работы p-n перехода основан на динамическом изменении энергетических зон. Рассмотрим два состояния p-n перехода, к которому приложено внешнее напряжение: прямое смещение (рис. 4) и обратное смещение (рис. 5).

Прямое смещение:

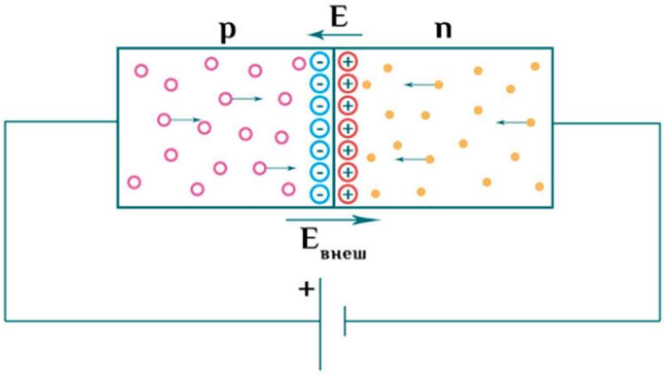


Рисунок 4 – Прямое смещение для p-n перехода

P-n переход представляет собой полупроводниковую структуру, которая пропускает электроны только в одном направлении – из n-области в p-область. Для преодоления энергетического барьера обеднённой зоны электронам требуется дополнительная энергия. Такие устройства, работающие на основе p-n перехода, называются диодами и широко используются в электронике. При подаче прямого

смещения (положительного напряжения на p-область относительно n-области, как показано на рисунке 4) происходит понижение потенциального барьера. Это позволяет электронам из зоны проводимости n-типа свободно преодолевать переход и перемещаться в p-область. В результате в цепи возникает электрический ток, величина которого зависит от приложенного напряжения. В режиме прямого смещения наблюдаются характерные изменения в структуре перехода. Ширина обеднённой области значительно уменьшается по сравнению с равновесным состоянием. В p-области сохраняются положительные ионы, а внешний источник напряжения создает условия для направленного движения носителей заряда. Именно этот принцип лежит в основе работы большинства полупроводниковых приборов.

Обратное смещение:

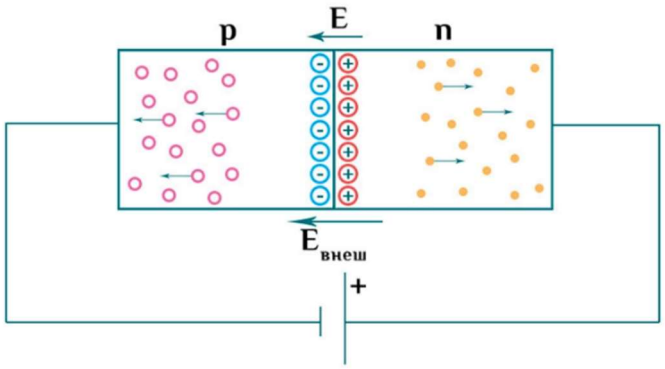


Рисунок 5 – Обратное смещение для p-n перехода

При подаче обратного смещения на p-n переход (рис. 5) происходит расширение обеднённой области и усиление разделения зарядов. Возникающий при этом повышенный энергетический барьер эффективно блокирует движение электронов через переход. В результате через диод практически не протекает электрический ток от p к n области.

Именно это свойство односторонней проводимости – способность пропускать ток только в одном направлении – стало революционным преимуществом полупроводниковых диодов. Оно позволило создать компактные и эффективные электронные устройства, полностью вытеснившие громоздкую вакуумную ламповую технологию. Сегодня этот принцип лежит в основе работы всех современных полупроводниковых приборов.

Таким образом, p-n переход обладает выпрямляющими свойствами: хорошо проводит ток при прямом смещении и почти не пропускает его при обратном. Это ключевой принцип работы диодов и многих других полупроводниковых приборов, заменивших устаревшие вакуумные технологии.

Применение p-n переходов в современных технологиях

P-n переходы играют важную роль в современной электронике, становясь основой работы множества устройств, обеспечивая важнейшие функции для обработки и передачи электрических сигналов. Их уникальные характеристики находят применение в самых различных областях науки и техники.

Диоиды

Полупроводниковый диод – это устройство, основанное на p-n переходе, которое пропускает ток только в одном направлении. Его конструкция включает две области: p-тип с дырочной проводимостью и n-тип с электронной проводимостью. Такой принцип работы позволяет диоду выполнять функцию выпрямления тока. Схематично полупроводниковый диод показан рисунке 6.

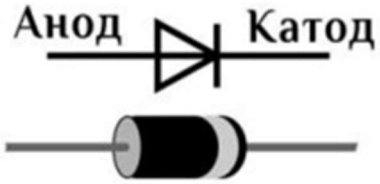


Рисунок 6 – Полупроводниковый диод

Существует несколько типов диодов, которые классифицируются в зависимости от их функций.

Выпрямительные диоды преобразуют переменный ток в постоянный и широко используются в блоках питания и зарядных устройствах.

Один из популярных вариантов – диодный мост, который состоит из четырёх диодов, соединённых так, чтобы выпрямлять оба полупериода переменного напряжения (рис. 7). Такая схема гарантирует направленность тока и позволяет получить стабильное постоянное напряжение.

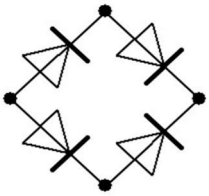


Рисунок 7 – Диодный мост

Импульсные диоды, которые работают в цифровых схемах и высокоскоростных устройствах, защищают электронные компоненты от скачков напряжения.

Стабилитроны, в свою очередь, поддерживают стабильное напряжение, а варикапы регулируют ёмкость в зависимости от приложенного напряжения.

Одной из ключевых характеристик диодов является показанная на рисунке 8 вольт-амперная характеристика (ВАХ), которая отражает зависимость тока от напряжения.

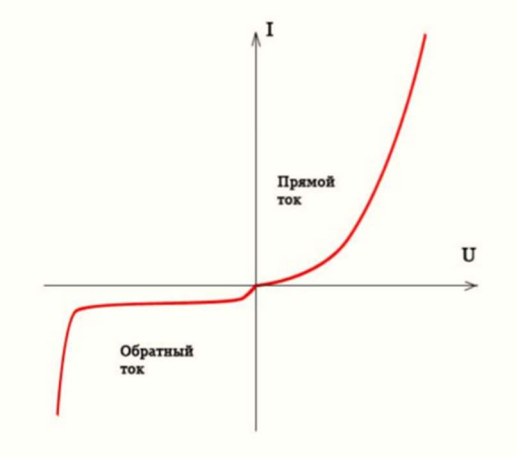


Рисунок 8 – ВАХ p-n перехода

При прямом напряжении ток увеличивается экспоненциально, а барьер p-n перехода ослабевает. При обратном напряжении ток остаётся минимальным, и наблюдается ток насыщения, который зависит от температуры и материала.

Солнечные батареи

Солнечные батареи – это одно из наиболее значимых применений p-n переходов, преобразующих солнечную энергию в электрическую. В основе их работы лежит фотоэлектрический эффект, возникающий в p-n переходе, когда при освещении происходит разделение электрон-дырка, генерируя электрический ток.

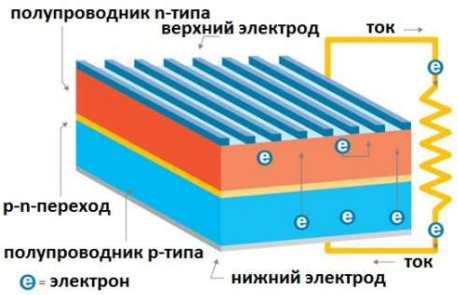


Рисунок 9 – Процесс преобразования солнечной энергии в электрическую

Солнечные элементы состоят из двух слоёв: области n-типа, где находятся свободные электроны, и области p-типа, где преобладают дырки. Эти два слоя формируют p-n переход, который определяет характеристики солнечных батарей. КПД современных кремниевых солнечных панелей, достигающий 15-22%, напрямую зависит от особенностей этого перехода.

Вентильный фотоэффект – это явление возникновения электродвижущей силы (или фотоэдс) при освещении структуры, состоящей из разнородных элементов. Составляющими такой структуры могут

быть два полупроводника с различным типом проводимости (p-n переход). Практическое применение солнечные батареи получили, когда на смену контактам Шоттки пришли сначала германиевые, а затем кремниевые фотоэлементы с p-n переходом, имеющие существенно более высокий к.п.д.. Коэффициент полезного действия батарей на основе гетероструктур из новых полупроводниковых материалов достигает 30 %.

Солнечные батареи используются как в космической технике, где важны надёжность и высокая производительность, так и в земных энергосистемах, обеспечивая экологически чистую и устойчивую энергию. P-n переход позволяет эффективно преобразовывать солнечную энергию, открывая новые возможности для развития альтернативных источников энергии.

Биосенсоры и медицинская диагностика

P-n переходы на основе пористого кремния и графена применяются в биосенсорах для диагностики, так как они чувствительны к поверхностным зарядам. Это позволяет точно обнаруживать биомолекулы, такие как ДНК или белки, для ранней диагностики заболеваний, обеспечивая персонализированный подход к лечению.

Нейроморфные вычисления

Нейроморфные вычисления ориентированы на создание систем, имитирующих работу мозга, с использованием мемристоров на основе p-n переходов, они регулируют движение заряда в мемристорах, позволяя им «запоминать» состояние, что делает их подходящими для хранения и обработки данных.

Фотокамеры в смартфонах

Современные камеры смартфонов используют p-n переходы, которые являются основой сенсоров, преобразующих свет в электрические сигналы. Эти переходы обеспечивают высокую светочувствительность, особенно при съёмке в условиях низкого освещения. Обратноосвещённые CMOS-матрицы с p-n переходами увеличивают улавливаемое количество света, что улучшает светочувствительность и снижает шум в изображении. P-n переходы остаются важной частью камер смартфонов, обеспечивая адаптацию к условиям съёмки и высокое качество фото.

Выводы

1. P-n переход в полупроводниках образуется при помощи различных примесных веществ, донорного и акцепторного типа.

2. Основное свойство p-n перехода заключается в прохождении тока в одном направлении.

3. На основании свойств p-n перехода построено множество полупроводниковых приборов, таких как: диод, транзистор, светодиод, мемристор, элементы солнечных батарей, интегральные микросхемы. Таким образом, p-n переход играет важную роль в развитии современной электроники, улучшая функциональность существующих устройств.

Список использованных источников:

1. *Шишкин Г.Г., Шишкин А.Г. Электроника: учебник для бакалавров. 2-е изд. – М.: Юрайт, 2015. – 703 с.*
2. *Парфенов В.В., Закиров Р.Х., Болтакова Н.В. Изучение солнечной батареи. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2014. – 120 с.*
3. *Гременок В.Ф., Тиванов М.С., Залесский В.Б. Солнечные элементы на основе полупроводниковых материалов. – Минск: Белорусская наука, 2018. – С. 45-67.*
4. *Третьяков С.Д. Современные технологии производства радиоэлектронной аппаратуры. – М.: Техносфера, 2020. – 256 с.*
5. *Акимова Г.Н. Электронная техника: учеб. пособие. – СПб: Лань, 2017. – 180 с.*
6. *Бонч-Бруевич В.Л. Применение полупроводниковых приборов в медицинской аппаратуре // Медицинская техника, 2019. – № 3. – С. 12-18.*
7. *Иванов А.А., Петров С.К. Перспективы развития микроэлектроники // Микроэлектроника, 2023. – № 4. – С. 34-45.*

UDC 621.382.2

P-N JUNCTION AND ITS APPLICATIONS

Bizyuk D.S., Tytush E.A. *students of group 424403*

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics
Minsk, Republic of Belarus

Saladukhin I.A. – PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor, Department of Physics

Annotation. *This work is devoted to the study of the p-n junction – its structure, principles of operation and key characteristics. The main fields of application are considered, including diodes, solar cells, biosensors and modern electronic devices.*

Keywords. *P-n junction, semiconductor devices, diodes, solar cells, energy conversion, electronic engineering, forward bias, diffusion.*

БОЗОНЫ: КЛАССИФИКАЦИЯ, СВОЙСТВА И РОЛЬ В ФИЗИКЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

Шурпо Т.В., студент гр.418301, Княжевич К.А., студент гр.418302

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Чаевский В.В. —кандидат физико–математических наук, доцент кафедры физики

Аннотация. В работе представлен анализ бозонов — частиц с целочисленным спином, играющих ключевую роль в реализации фундаментальных взаимодействий. Рассмотрены их классификация, физические свойства, роль в Стандартной модели и гипотезах за её пределами. Особое внимание уделено бозону Хиггса, завершившему Стандартную модель, а также перспективам исследований в области квантовой гравитации и тёмной материи [1].

Бозоны — элементарные частицы с целочисленным спином, подчиняющиеся статистике Бозе-Эйнштейна, что позволяет множеству частиц занимать одно квантовое состояние. Их уникальные свойства лежат в основе макроскопических квантовых явлений, таких как сверхпроводимость (проведение тока без сопротивления за счёт куперовских пар) и формирование структуры материи [2]. В рамках Стандартной модели бозоны выступают переносчиками фундаментальных взаимодействий: фотон (γ) отвечает за электромагнетизм, глюоны (g) — за сильное взаимодействие, перенося «цветовой» заряд между кварками, а W± и Z-бозоны (массы ~80,4 и ~91,2 ГэВ/c^2) опосредуют слабые взаимодействия. W±-бозоны, несущие заряд ±e, участвуют в превращениях кварков, например, в бета-распаде нейтрона, а Z^0-бозон отвечает за нейтральные токи, не изменяющие тип частицы [3]. Бозон Хиггса (спин 0, масса 125 ГэВ/c^2), открытый в 2012 г. на БАК, взаимодействует с одноимённым полем, нарушающим электрослабую симметрию и придающим массу фермионам и W/Z-бозонам [1].

Составные бозоны, такие как пионы (кварк-антикварк), мезоны и дейтроны (протон+нейтрон), формируются из чётного числа фермионов, что обеспечивает целочисленный спин. Гипотетические бозоны включают гравитон (спин 2, безмассовая частица, предсказанная теорией струн для квантования гравитации) и аксион — ультралёгкую частицу, предложенную для решения проблемы CP-нарушения в квантовой хромодинамике. Аксионы, слабо взаимодействующие с обычной материей, рассматриваются как ключевой кандидат в холодную тёмную материю [5].

Коллективные эффекты бозонов проявляются в конденсате Бозе-Эйнштейна (атомы рубидия при ~1 мкК), где частицы синхронизируются в единое квантовое состояние, и сверхтекучести гелия-4 ($T < 2{,}17$ К), где квантовые эффекты подавляют вязкость, позволяя веществу течь без трения [2]. В фундаментальных взаимодействиях W/Z-бозоны и фотоны объединены в электрослабую теорию (Глэшоу-Вайнберг-Салам), проявляющуюся при энергиях выше 100 ГэВ [3], а глюоны формируют «силовые трубки» между кварками, объясняя конфайнмент — невозможность их изоляции из-за роста энергии связи, приводящего к рождению новых частиц [4].

Космологическая роль бозонов связана с фазовыми переходами ранней Вселенной, включая нарушение симметрии Хиггса (~10^{-12} с после Большого взрыва), которое привело к появлению масс частиц и разделению электрослабого взаимодействия. Гипотетические бозоны, такие как аксионы, могут составлять до 27% массы Вселенной, объясняя гравитационные аномалии галактик и скоплений [5]. Современные эксперименты на БАК изучают аномальные распады бозона Хиггса ($H \rightarrow \gamma\gamma$), отклонения которых могут указывать на взаимодействие с тёмной материей или дополнительные измерения [1]. Теория суперсимметрии, предсказывающая бозонные партнёры фермионов (скварки, снейтрино) для решения проблемы иерархии масс, пока не подтверждена при энергиях до 13 ТэВ [6]. Проекты вроде LISA (запуск в 2034 г.) и NanoGrav исследуют низкочастотные гравитационные волны от слияния сверхмассивных чёрных дыр, что может дать косвенные свидетельства гравитонов.

Перспективы связаны с коллайдерами нового поколения: FCC (длина 100 км, энергия до 100 ТэВ) и HL-LHC, которые повысят точность измерений хиггсовского бозона и проверят его возможную составную природу. Эти проекты, наряду с детекторами тёмной материи (XENONnT, IceCube), углубят понимание квантовой гравитации, тёмной материи и мультивселенных, расширяя границы физики за пределы Стандартной модели.

Список использованных источников:

1. *Observation of a new boson at a mass of 125 GeV / ATLAS Collaboration // Physics Letters B, 2012, - P.30–61.*
2. *Observation of Bose-Einstein Condensation in a Dilute Atomic Vapor / Anderson, M. H. [et al] // Science, 1995, - P.198–201.*
3. *A Model of Leptons / Weinberg, S. // Physical Review* Letters*, 1967, - P.1264–1266.*
4. *Ultraviolet Behavior of Non-Abelian Gauge Theories / Gross, D. J., Wilczek, F. // Physical Review Letters, 1973, - P. 1343–1346.*
5. *History of Dark Matter. / Bertone, G., Hooper, D. // Reviews of Modern Physics, 2018, - 90.045002.*
6. *The Eightfold Way/ Gell-Mann M., Ne'eman, Y. // The Eightfold Way. Benjamin, 1964.*

УДК 61:620.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК В МЕДИЦИНЕ

Сакович М.С.[1], Соловьёв А.Я.[1], студенты гр.311801

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники[1]
г. Минск, Республика Беларусь

Дорошевич И.Л. – канд. физ.-мат. наук, доцент

Аннотация. В данной работе приводится краткое описание углеродных нанотрубок и их физических свойств. Рассмотрены возможности применения углеродных нанотрубок в медицине для изготовления имплантатов костной и хрящевой ткани, биологического припоя для лазерной сварки, искусственной мышцы, а также систем для адресной доставки лекарственных веществ.

Ключевые слова. Углеродные нанотрубки, искусственная мышца, биологический припой, система доставки лекарственных веществ, наноигла.

Введение. На протяжении последних лет объекты нанометрового масштаба по мнению экспертов названы самыми востребованными в различных сферах науки и техники. Они имеют широкую область применения, включая электронику, медицину, оптику, энергетику и другие отрасли. В числе наноструктур можно указать: графены, нанокристаллические ферромагнитные сплавы, фуллерены, нанокомпозиты, тонкопленочные многослойные наноструктуры, углеродные нанокольца, а также углеродные нанотрубки. Поэтому проблема использования углеродных нанотрубок в медицине очень актуальна в настоящее время.

Впервые углеродные нанотрубки были обнаружены в 1991 году японским микроскопистом Сумно Инжимой [1]. Он смог запечатлеть и выяснить структуру углеродных нанотрубок. Сумио Иидзима получил углеродные нанотрубки **методом электродугового разряда**. Этот метод заключается в создании электрической дуги между углеродными **катодом** и **анодом**. При этом происходит испарение углерода с анода и его осаждение на катоде в виде углеродных нанотрубок [2].

Основная часть. Углеродные нанотрубки – это аллотропная модификация углерода, представляющая собой полые цилиндрические структуры диаметром от 0,1 до нескольких десятков нанометров и длиной от 1 микрометра до нескольких сантиметров, состоящие из одной или нескольких свёрнутых в трубку графеновых плоскостей [3].

По количеству графеновых слоев углеродные нанотрубки делятся на однослойные (одностенные) и многослойные (многостенные). Однослойная УНТ похожа на «выкройку» графена, имеющей сеточную структуру и состоящую из бесчисленного множества правильных многоугольников. В многослойных УНТ расстояние между графеновыми слоями составляет 0,34 нм, как в обычном графите. Они характеризуются широким разнообразием форм и конфигураций. Типы многослойных УНТ:

- в виде совокупности коаксиально вложенных друг в друга цилиндрических трубок;
- в виде совокупности вложенных друг в друга коаксиальных (шестигранных) призм;
- в виде свитка.

По типу торцов УНТ бывают открытыми и закрытыми [4].

По электронным свойствам углеродные нанотрубки делятся на металлические и полупроводниковые.

Физические свойства нанотрубок находятся в прямой зависимости от хиральности (свойство молекулы не совмещаться в пространстве со своим зеркальным отражением). Хиральность характеризуется двумя целыми числами (m, n), которые указывают местонахождение того шестиугольника сетки, который в результате свертывания должен совпасть с шестиугольником в начале координат.

Свойства и преимущества углеродных нанотрубок:

- обладают адсорбционными свойствами. Могут хранить в себе различные газы. Попав внутрь атомы и молекулы уже не могут выйти наружу, т.к. концы трубки запаиваются;
- обладают капиллярным эффектом. Углеродные нанотрубки открытым концом втягивают в себя жидкие вещества и расплавленные металлы;
- улучшение эксплуатационных характеристик других материалов при добавлении в их структуру;
- высокая огнестойкость;
- рекордно высокая удельная поверхность – до 2 600 $м^2/г$;
- высокая прочность. Углеродные нанотрубки прочнее стали в 50-100 раз;

– имеют в шесть раз меньшую плотность, чем обыкновенная сталь. Нанокабель длиной от Земли до Луны, состоящий из одной углеродной нанотрубки, можно намотать на катушку размером с маковое зернышко;

– модуль Юнга у углеродных нанотрубок вдвое выше, чем у обычных *углеродных волокон*;

– небольшая нить из углеродных нанотрубок диаметром 1 мм выдерживает груз весом 20 тонн, что в сотни миллиардов раз больше ее собственной массы;

– высокая гибкость. Под действием механических напряжений, нанотрубки не рвутся и не ломаются, а просто перестраиваются, сохраняя при этом высокую прочность, гибкость, прочие механические и электрические свойства;

– высокая устойчивость к изнашиваемости;

– повышенная электро- и теплопроводность. Проводимость меди, как лучшего металлического проводника таблицы Д.И. Менделеева, в 1000 раз хуже, чем у углеродных нанотрубок. При этом, электропроводность трубок зависит от индекса хиральности. В одних случаях нанотрубки могут быть полупроводниками, в других проявлять свойства практически идеальных проводников;

– с помощью углеродных нанотрубок можно создавать полупроводниковые гетероструктуры, т.е. структуры типа «металл/полупроводник». Для этого в процессе роста нанотрубки необходимо создать в ней структурный дефект (а именно, заменить один из углеродных шестиугольников пятиугольником) просто надломив его посередине особым образом. Тогда одна часть нанотрубки будет обладать металлическими свойствами, а другая - свойствами полупроводников;

– ловят радиоволны частотой от 40 до 400 МГц (обычные AM и FM волны), а затем усиливают и передают их;

– гидрофобны. Отталкивают воду [5].

В таблице 1 приведены некоторые физические свойства углеродных нанотрубок.

Таблица 1 – Физические свойства углеродных нанотрубок

Физическая величина	**Значение**
Плотность	$\rho \sim 1600$ кг/м^3
Максимальная плотность тока	$J_{in} \sim 10^8$ А/м^2
Удельная проводимость	$\sigma_{in} \sim 10^7$ См/м
Предел прочности на растяжение	$\sigma_{пр} \sim 50 * 10^9$ Па
Модуль Юнга	$E \sim 10^{12}$ 1 Па

Недостатком УНТ является их токсичность и канцерогенность, аналогичная асбестовым волокнам. В настоящее времени накопились многочисленные работы, посвященные исследованиям степени безопасности для здоровья человека углеродных нанотрубок и наноматериалов на их основе. Из них можно сформулировать следующие выводы:

– токсичность ОУНТ больше, чем у МУНТ;

– МУНТ не вызывают образования свободных радикалов, наоборот, они являются их «тушителями»;

– в биологической среде происходит окислительное ферментативное расщепление УНТ в течение восьми недель [6].

Углеродные нанотрубки открывают большие возможности для биологического и медицинского применения. Рассмотрим это более подробно.

Системы доставки антибиотиков. Амфотерицин В – противогрибковый препарат широкого спектра действия, но при этом его применение ограничено такими отрицательными качествами, как высокая токсичность, низкая растворимость в воде и способность агрегироваться на поверхности клеточной мембраны. При концентрации амфотерицина В, поступающего в ткани в чистом виде, в 10 мг/мл происходит гибель 40 % клеток ткани. Соединение данного антибиотика с УНТ позволяет повысить концентрацию антибиотика до 40 мг/мл без возникновения отрицательных эффектов [4].

Системы доставки ЛВ при химиотерапии рака. Метотрексат – широко известный противораковый лекарственный агент, который имеет такие отрицательные характеристики, как низкая биодоступность и токсичность. При использовании УНТ, имеющих встроенный «молекулярный адрес» для раковых клеток, наблюдается повышение его биодоступности и накапливание метотрексата в тканях опухоли [4].

Имплантаты. В настоящее время изготавливаются различные композитные наноматериалы на основе УНТ, в которых матрицей служат полимеры, а наполнителем - углеродные нанотрубки различных

типов. Полимерные матрицы, армированные УНТ, могут быть использованы как конструкционный материал для костного цемента, а также в качестве структурного материала в кожной инженерии. Композит на основе полиуретана и УНТ, обладающий более выраженными электрическими и механическими свойствами, может быть использован для стимуляции роста костной и нервной тканей.

Соединения биологических тканей. Лазерная сварка (ЛС) является новым направлением, позволяющим значительно улучшить традиционные методы соединения и восстановления биологической ткани (БТ). При этом полученный шов практически не имеет грубых и сильно заметных рубцов. ЛС осуществляется путем нанесения на поверхность будущего шва специального биологического припоя, интенсивно поглощающего ЛИ. Последние исследования показали потенциальные возможности применения в лазерной сварке биологического припоя на основе водной дисперсии БСА + УНТ.

Искусственная мышца. Электрические приводы могут быть использованы в качестве мышц для человекоподобных роботов или биосовместимых имплантатов для человека. В медицинских приложениях подходящим является трехкомпонентный слоеный привод на основе ионно-металл-полимерного композита (ИМПК). Улучшить его свойства удалось путем замены ранее использовавшегося платинового или золотого электрода электродом на основе МУНТ. Приводы с МУНТ демонстрируют на 20 % большее смещение по сравнению с традиционным ИМПК на основе платины, причем они существенно дешевле. Данные проводящие наноматериалы имеют перспективы использования в качестве электродов в различных медицинских аппаратах: дефибрилляторах, кардиографах, энцефалографах и др. Приводы с УНТ развивают удельные мощности больше относительно натурной мышечной ткани человека [6].

Нанотрубки против ВИЧ. Ученные установили, что углеродные нанотрубки могут доставлять фрагменты ДНК и РНК в человеческие Т-клетки. В случае с вирусом иммунодефицита человека нанокапсулы не могут проникнуть внутрь Т-клеток. Для превращения нанотрубки в «носитель» ученные нанесли на поверхность наноструктуры фосфолипиды, благодаря которым нанотрубка могла проникнуть внутрь клетки. К концам фосфолипидов были добавлены РНК-отрезки. При попадании нанотрубок с грузом в Т- клетку сульфидный мостик, удерживающий РНК, рвется, и молекула «защищает» клетку от вируса.

Наноигла. Доставка генов и молекул РНК внутрь клетки - одно из потенциальных применений наноиглы. Она также позволит больше узнать о внутриклеточных процессах. Наиболее подходящими на роль «иголки» в наноразмерном диапазоне являются углеродные нанотрубки. Они имеют характерную игловидную форму и достаточно гибки и жестки, чтобы проткнуть мембрану. Установка состоит из зонда атомно-силового микроскопа, к которому прикреплена многослойная углеродная нанотрубка. Сам же атомно-силовой микроскоп управляет иголкой с нанометровым разрешением.

Заключение. Углеродные нанотрубки открывают новые возможности для биологического и медицинского применения: визуализация молекулярных, клеточных и тканевых структур; создание биосенсоров и электродов на их основе; целевая доставка разнообразных веществ; лучевая и фототермическая терапия. Однако, в связи с неясностью вопроса биосовместимости и цитотоксичности углеродных нанотрубок возможность их практического применения тормозится. Перед внедрением углеродных нанотрубок в практическое здравоохранение необходимо предусмотреть все возможные последствия их использования.

Список использованных источников:

1. О преимуществах применения углеродных нанотрубок в дисплеях и светодиодах /Данилов И. И., Бураев Д. А., Старухин А. В., Краско Е. С. // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2021. Т. 34. № 1. С. 105-113.

2. Углеродные нанотрубки. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://bigenc.ru/c/uglerodnye-nanotrubki-8b1fb1 - Дата доступа: 22.03.2025.

3. Углеродные нанотрубки. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: //ru.ruwiki.ru/wiki/Углеродные_нанотрубки - Дата доступа: 22.03.2025.

4. Нанобиотехнологии в медицине и фармации: учебное пособие / И. А. Мурашкина, А. А. Маркеев; Иркутский государственный медицинский университет, Кафедра фармакогнозии и фармацевтической технологии. – Иркутск : ИГМУ, 2022. – 80 с.

5. Углеродные нанотрубки, их производство, свойства и применение. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://вторыяиндустриализация.рф/uglerodnyie-nanotrubki-ih-proizvodstvo-svoystva-i-primenenie/#fizicheskie-svojstva- Дата доступа: 22.03.2025.

6. Перспективные наноматериалы с углеродными нанотрубками в биомедицинских приложениях/ А.Ю. Герасименко, Л.П. Ичкитидзе, В.М. Подгаецкий, С.В. Селищев // Медицинская техника. 2014. № 6. С. 23-27.

7. Наноуглеродная основа высокотехнологичного будущего. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://issek.hse.ru/trendletter/news/163193005.html - Дата доступа: 22.03.2025

8. Российские ученые предупредили о вреде медицинских нанотрубок. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://hi-tech.mail.ru/news/120729-rossijskie-uchenye-predupredili-o-vrede-medicinskih-nanotrubok/- Дата доступа: 22.03.2025.

UDC 61:620.3

THE USE OF CARBON NANOTUBES IN MEDICINE

Sakovich M.S.[1], Salauyou A.Y.[1]

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics[1], Minsk, Republic of Belarus

Doroshevich I.L. – PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor

Annotation. This paper provides a brief description of carbon nanotubes and their physical properties. The possibilities of using carbon nanotubes in medicine for the manufacture of bone and cartilage tissue implants, biological solder for laser welding, artificial muscles, as well as systems for targeted drug delivery are considered.

Keywords. Carbon nanotubes, artificial muscle, biological solder, drug delivery system, nanoeedles.

СРАВНЕНИЕ ЧАЭС И БЕЛАЭС

Пухаева Н.С., студент гр.448001

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Андрианова Е.В. – ассистент кафедры физики

Аннотация.В данной статье проводится сравнительный анализ Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС) и Белорусской атомной электростанции (БелАЭС). Исследуются исторические аспекты, проектные характеристики, технологии генерации электроэнергии и вопросы безопасности, а также экологические последствия эксплуатации этих объектов. Особое внимание уделяется урокам, извлеченным из аварии на ЧАЭС и их влиянию на проектирование и строительство БелАЭС. В статье рассматриваются также социальные и экономические аспекты функционирования обеих станций, а также восприятие атомной энергетики обществом в странах их расположения. Выводы подчеркивают значимость продолжающихся исследований и обсуждений по вопросам атомной энергетики, ее роли в обеспечении энергетической безопасности и устойчивом развитии регионов.

Ключевые слова. Атомная электростанция, атомная энергетика, Чернобыльская атомная электростанция, ЧАЭС, Белорусская атомная электростанция, БелАЭС, безопасность.

Устройство ЧАЭС:

Проектирование Чернобыльской атомной электростанции предусматривало строительство шести энергоблоков, среди которых два были запланированы с использованием реакторов большого мощности канального типа (РБМК) первого поколения, а остальные — второго поколения. Однако возведение пятого и шестого блоков было остановлено после трагических событий, произошедших 26 апреля 1986 года.

На этапе разработки реакторов РБМК первого поколения системы безопасности либо отсутствовали, либо имели значительные недостатки. Это привело к тому, что первые энергоблоки РБМК-1000 имели недостаточное количество защитных систем, в результате чего потребовалась серьезная модернизация данных установок.

Активная зона реактора размещена внутри графитовой кладки, которая имеет диаметр около 12 метров и высоту приблизительно 7 метров. Структура кладки состоит из колонн блоков с вертикальными отверстиями для установки технологических каналов, которые необходимы для функционирования реактора.

Каждый технологический канал представляет собой сварную трубную конструкцию с диаметром около 6 см в активной зоне. Эти каналы предусмотрены для размещения кассет с тепловыделяющими элементами (ТВЭЛами) и для подачи теплоносителя, то есть воды. В общей сложности в реакторе насчитывается 1661 технологический канал.

Топливная кассета состоит из двух последовательно соединенных тепловыделяющих сборок, каждая из которых содержит 18 тепловыделяющих элементов. ТВЭЛ представляет собой трубку с высотой 3,6 метра, диаметром 13,5 мм и стенкой толщиной 0,9 мм, внутри которой находятся 200 таблеток диоксида урана.

Управление реактором осуществляется с помощью поглощающих стержней, равномерно распределенных по его конструкции, выполненных из боросодержащих материалов. Эти стержни известны как стержни системы управления и защиты (СУЗ). В составе всего системы имеется 211 стержней, каждый из которых расположен в специальном канале и управляется индивидуальным сервоприводом. Для каналов стержней СУЗ предусмотрена отдельная система водяного охлаждения, что обеспечивает дополнительную безопасность и эффективность функционирования реактора.

Устройство БелАЭС:

Современные атомные реакторы ВВЭР-1200 обладают рядом ключевых характеристик, которые обеспечивают их высокую энергоэффективность и безопасность. Эти реакторы создавались с учетом последних достижений в области ядерной энергетики и используют комплексный подход к обеспечению безопасности, что делает их надежным выбором для эксплуатации.

Одной из особенностей ВВЭР-1200 является наличие многоуровневой системы безопасности, которая включает как активные, так и пассивные элементы. Такой подход значительно усиливает устойчивость реакторов к различным угрозам, как внешним, так и внутренним. Контейнерная оболочка, окружающая реактор и другие важные элементы, защищает от возможных утечек радиоактивных веществ в атмосферу, минимизируя потенциальные риски в случае аварийных ситуаций. Это особенно важно, учитывая повышенные требования к безопасности современных атомных станций.

Дополнительно, реакторы ВВЭР-1200 демонстрируют улучшенные характеристики теплообмена и автоматизации. Эти усовершенствования являются значительным шагом вперед по сравнению с предыдущими моделями, поскольку они способствуют повышению общей эффективности работы реакторов. Правильное и безопасное управление теплообменом позволяет оптимизировать процессы, что непосредственно влияет на уровень производимой электроэнергии.

Основные системы управления на Белорусской АЭС включают в себя автоматизированную систему, предназначенную для мониторинга всех параметров работы и безопасности реактора. Эта система управления реактором представляет собой сложное технологическое решение, которое способен осуществлять целый ряд функций, начиная от контроля температуры и давления, до мониторинга состояния систем безопасности. Она обеспечивает надежный и непрерывный анализ состояния реактора, что является критически важным для поддержания рабочих параметров и предотвращения возможных инцидентов.

Системы охлаждения на БелАЭС организованы на основе двухконтурной циркуляции воды. Здесь первичный контур отвечает за охлаждение активной зоны реактора, в то время как вторичный контур предназначен для производства пара, который в свою очередь используется в паровых турбинах для генерации электричества. Процесс генерации электрической энергии — это многопоточный процесс: тепловая энергия, полученная от реактора, преобразуется в механическую на турбине, а затем в электрическую. Этот подход делает реакторы ВВЭР-1200 значительно более эффективными и производительными.

Система безопасности Белорусской АЭС включает в себя несколько ключевых механизмов. Одним из самых важных аспектов является аварийное охлаждение, которое разработано с целью обеспечения охлаждения активной зоны реактора в критических ситуациях, таких как отключение систем активного охлаждения. Это позволяет значительно снизить риск перегрева и потенциального разрушения реактора. Контроль радиационной безопасности также играет важную роль; регулярный мониторинг радиационного фона обеспечивает защиту как для работников станции, так и для окружающих территорий. Элементы пассивной безопасности, такие как системы естественной циркуляции, позволяют осуществлять охлаждение реактора без активного вмешательства со стороны человека, что существенно повышает уровень защиты в случае чрезвычайных ситуаций.

Экологическая безопасность является одним из краеугольных аспектов проектирования и строительства БелАЭС. В этом плане уделяется внимание строгим требованиям к управлению экологической безопасностью, включая управление отходами, оценку воздействия на окружающую среду и разработку технологий для минимизации экологических рисков. Все эти меры подчеркивают приверженность станции к устойчивому развитию и защите окружающего мира. В современных условиях, когда вопросы экологии становятся особенно актуальными, такое внимание к экологической безопасности демонстрирует серьезный подход к ответственному обращению с ядерной энергией и ее последствиями.

Сравнение мощности и систем защиты ЧАЭС и БелАЭС:

Мощность:

Проектная генерируемая мощность ЧАЭС составила 6000 МВт. На момент трагедии в апреле 1986 года в эксплуатации находились четыре энергоблока, каждый из которых был оснащен реакторами РБМК-1000. Совокупная мощность этих блоков была равна 4000 МВт, что характеризовал ЧАЭС как мощное энергетическое предприятие своего времени.

На сегодняшний день Белорусская АЭС оборудована двумя энергоблоками, основанными на реакторах ВВЭР-1200. Каждый из этих блоков обладает мощностью в 1200 МВт. Таким образом, общая мощность БелАЭС составляет 2400 МВт. При сравнении видно, что мощность одного энергоблока Белорусской АЭС в 1,2 раза превышает мощность энергоблоков, которые работали на Чернобыльской АЭС. Это свидетельствует о том, что современные технологии позволяют достигать более высокой эффективной генерации энергии, даже с меньшим числом энергоблоков.

Системы защиты:

С точки зрения систем защиты, конструкция реакторов на Чернобыльской АЭС, тип которых РБМК, содержала несколько серьезных недостатков. Ключевые риски, связанные с их проектированием и эксплуатацией, включали:

- Отсутствие защитной оболочки: это позволяло радиоактивным веществам свободно выходить в атмосферу при аварийных ситуациях.
- Низкий уровень автоматизации систем безопасности: системы контроля и защиты не обеспечивали необходимого уровня автоматизации, что ограничивало возможности быстрого реагирования на внештатные ситуации.
- Уязвимость к человеческой ошибке: поскольку многие процессы требовали значительного вмешательства человека, это создавало дополнительные риски для безопасности.

Эти отрицательные факторы стали ключевыми в катастрофе 1986 года, что продемонстрировало необходимость пересмотра подходов к проектированию и эксплуатации атомных станций.

Совершенно иначе устроена Белорусская АЭС, которая строится с учетом всех уроков, извлеченных из трагического опыта Чернобыльской аварии. Она включает в себя ряд усовершенствованных систем безопасности:

- Защитная оболочка реакторов ВВЭР-1200: эта оболочка способна выдерживать значительные внешние воздействия и предотвращать утечки радиоактивных веществ.

- Многоуровневая система безопасности: включение как активных, так и пассивных систем позволяет обеспечить комплексную защиту от различных аварийных ситуаций, таких как пожары или сильные землетрясения.
- Современные системы мониторинга и управления: высокий уровень автоматизации значительно снижает риск человеческого фактора, обеспечивая оперативный контроль за состоянием реактора и его систем безопасности.

Сравнительный анализ мощностей и систем безопасности показывает, что Белорусская АЭС существенно превосходит Чернобыльскую как по уровню генерируемой мощности, так и по уровню безопасности. Современные технологии, внедренные в проектирование и эксплуатацию БелАЭС, в значительной степени снижают риски, связанные с эксплуатацией атомных станций. Учитывая ошибки прошлого, можно надеяться на более безопасное использование атомной энергии в будущем, что является важным аспектом для всех стран, рассматривающих ядерную энергетику как источник электроэнергии.

МАГАТЭ и современные меры безопасности атомных электростанций:

Атомные электростанции являются важными источниками электроэнергии, но их эксплуатация сопряжена с рисками, связанными с возможными авариями и радиационными воздействиями. Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ), основанное в 1957 году, способствует безопасному и мирному использованию ядерной энергии, формируя международные стандарты и обеспечивая техническую помощь для государств-участников.МАГАТЭ занимается разработкой и обновлением перестраховочных стандартов, таких как "Основные требования безопасности" и "Рекомендации по безопасному проектированию атомных реакторов". Эти документы охватывают проектирование реакторов, управление рисками, а также обучение персонала. Основное внимание уделяется внедрению пассивных систем безопасности, которые могут функционировать без вмешательства человека в условиях сбоя, а также обеспечению устойчивости атомных электростанций к природным и техногенным катастрофам.

Современные атомные электростанции проектируются с учетом передовых технологий безопасности, направленных на минимизацию потенциальных рисков. Такие системы безопасности обеспечивают надежную защиту, включая возможность охлаждения реактора в случае аварийных ситуаций без внешнего вмешательства. Применяются многоуровневые подходы, сочетающие как активные, так и пассивные меры защиты.

МАГАТЭ имеет важное значение для формирования стандартов безопасности на атомных электростанциях, и современные технологии значительно повышают уровень безопасности и надежности этих объектов. Применение передовых методов на примере Белорусской АЭС подчеркивает стремление к минимизации рисков, связанных с эксплуатацией ядерной энергии, и открывает новые горизонты для устойчивого энергетического будущего.

Список использованных источников:

1.Чернобыльская авария и её последствия // [Электронный ресурс]https://eti.su/articles/over/over_1645.html

1.РУП «Белорусская атомная электростанция» // [Электронный ресурс]htttps://belaes.by

2.Информация об аварии на Чернобыльской АЭС и её последствиях, подготовленная для МАГАТЭ // [Электронный ресурс]magate-1.narod.ru/1.html

АНАЛИЗ ПРИНЦИПОВ РАБОТЫ И ПРИМЕНЕНИЯ ДАТЧИКОВ ДВИЖЕНИЯ, ОСНОВАННЫХ НА ЭФФЕКТЕ ДОПЛЕРА

Литвинович А. А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Савилова Ю.И. – канд. техн. наук, доцент

В статье рассматриваются датчики движения, использующие эффект Доплера для обнаружения перемещения объектов. Анализируются физические основы работы микроволновых (СВЧ) и ультразвуковых датчиков, их конструктивные особенности, преимущества и недостатки; приводятся примеры применения в системах безопасности, автоматизации и робототехнике. Особое внимание уделено вопросам минимизации ложных срабатываний и повышения точности обнаружения.

Эффект Доплера, открытый в 1842 году Кристианом Доплером, нашел широкое применение в различных областях науки и техники, включая радиолокацию, акустику и системы обнаружения движения. Датчики, основанные на этом эффекте, позволяют бесконтактно регистрировать перемещение объектов за счет анализа изменения частоты отраженного сигнала. Эффект Доплера заключается в изменении частоты и длины волны сигнала, воспринимаемого приёмником, при относительном движении источника и приёмника. Схематическая иллюстрация данного эффекта приведена на рисунке 1.

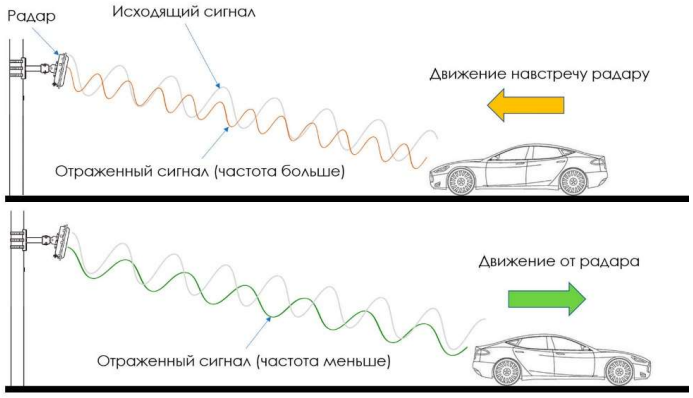


Рисунок 1 – Схема изменения длины (частоты) отражаемой волны в зависимости от направления движения объекта, показанная на примере автомобиля

Для того, чтобы применить эффект Доплера на практике, следует прибегнуть к следующим формулам: формула (1) используется при работе со звуковыми колебаниями, а формула (2) — при описании распространения электромагнитных волн (т. н. релятивистский эффект Доплера).

$$f_{\text{набл.}} = \frac{v \pm v_{\text{набл.}}}{v \pm v_{\text{ист.}}} f_{\text{ист.}} \ (1), \qquad \omega = \omega_0 \frac{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}{1-\frac{v}{c}cos\theta} \ (2),$$

где $(1): v = 335 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ (скорость звука); $f_{\text{набл.}}$ и $f_{\text{ист.}}$, $v_{\text{набл.}}$ и $v_{\text{ист.}}$ — частоты звуковых волн и скорости наблюдателя и источника соответственно; знак «+» ставится, если источник удаляется от наблюдателя; знак «-» ставится, если источник приближается к наблюдателя; (2): $c 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ (скорость света); v — скорость источника относительно приёмника (наблюдателя), θ — угол между направлениями на приёмник и вектором скорости в данной системе отсчёта [1].

С целью лучшего понимания эффекта Доплера, рассмотрим следующую задачу: «Поезд приближается к станции со скоростью 72 км/ч (20 м/с), издавая гудок частотой 500 Гц. Какую частоту услышит человек на платформе?» Учитывая, что человек неподвижен на платформе (т.е. скорость наблюдателя равна нулю) и скорость звука равна 335 метров в секунду, подставим значения в формулу (1): $f_{\text{набл.}} = \frac{335}{335-} \cdot 500 \approx 532(\text{Гц})$. Ответ: 532 Гц. Поскольку частота гудка на 32 Гц больше фактической, наблюдателю звук будет казаться «выше» по тональности, чем на самом деле. Данный пример подтверждает, что большинство людей регулярно сталкиваются с эффектом Доплера в быту.

В случае датчиков движения, передатчик излучает сигнал (СВЧ или ультразвук) в направлении зоны контроля. Если в этой зоне появляется движущийся объект, частота отражённого сигнала

изменяется. Приёмник фиксирует это изменение и преобразует его в электрический сигнал, активируя систему.

Доплеровские датчики движения применяются в следующих сферах:

1. Охранные системы: обнаружение вторжения на территорию, интеграция с камерами видеонаблюдения.
2. Умный дом и автоматизация: автоматическое включение света, управление климатическими системами [2].
3. Робототехника: навигация беспилотных устройств.
4. Транспортные системы: контроль скорости автомобилей (радары), датчики парковки.

В таблице 1 приведены типы доплеровских датчиков движения, их преимущества и недостатки.

Таблица 1 – Датчики движения, основанные на эффекте Доплера.

Тип	Принцип действия	Преимущества	Недостатки
Микроволновые (СВЧ) датчики	Используют излучение в диапазоне 1–60 ГГц (чаще всего 5,8 ГГц или 10 ГГц).	Высокая чувствительность к движению, работа сквозь неметаллические препятствия, устойчивость к температурным перепадам, использование уникальных частот, применение у животных, двойной сдвиг при отражении, зависимость от угла движения	Возможность ложных срабатываний, более высокая стоимость по сравнению с ИК-датчиками [3].
Ультразвуковые датчики	Работают на частотах 20–60 кГц, излучая и принимая отражённые звуковые волны.	Высокая эффективность в условиях запыленности и задымленности, менее подвержены влиянию тепловых помех	Ограниченная дальность действия, возможные воздействия на фауну (напр. летучие мыши).

Датчики движения, основанные на эффекте Доплера, демонстрируют высокие результаты в задачах бесконтактного обнаружения перемещений объектов различной природы. Эффективность обусловлена их уникальной способностью анализировать частотно-временные и фазовые характеристики отражённых сигналов с высокой степенью точности. Однако существующие технологические ограничения, такие как вероятность ложных срабатываний у СВЧ-датчиков при наличии электромагнитных наводок и относительно ограниченная дальность действия ультразвуковых аналогов (обычно не превышающая 10-15 метров), требуют комплексной оптимизации алгоритмов цифровой обработки сигналов и разработки гибридных решений, сочетающих доплеровскую технологию с другими методами детектирования (ИК-сенсорами, видеокамерами, т. н. «лидарами»).

Перспективные направления развития технологии связаны с глубокой интеграцией доплеровских датчиков в архитектуру интеллектуальных систем управления нового поколения, где они выступают в качестве критически важных элементов обратной связи для адаптивного регулирования параметров окружающей среды в реальном времени. Особый интерес представляет внедрение передовых методов машинного обучения и алгоритмов нейросетей для точной классификации типов движения (различение человека, животного, механизма) и эффективной минимизации шумовых составляющих сигнала. Параллельно с этим, освоение новых частотных диапазонов (в частности, т. н. «терагерцового» с длиной волны 0.1-1 мм) открывает принципиально новые возможности для применения в специализированных областях: медицинской диагностике (контроль микроциркуляции крови), прецизионных измерительных системах (с точностью до микрометров), а также в системах промышленной робототехники и автономного транспорта. Таким образом, стратегически важные направления дальнейших научно-исследовательских работ должны быть сфокусированы не только на устранении существующих технических ограничений, но и на кардинальном повышении информативности обнаруживаемых сигналов за счёт внедрения передовых методов обработки и многоспектрального анализа, что в полной мере позволит реализовать уникальный потенциал доплеровской технологии в условиях экспоненциально растущих требований к точности, надёжности и интеллектуальности современных автоматизированных систем различного назначения.

Список использованных источников:

1. Эффект Доплера – [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Эффект_Доплера (Дата обращения: 02.04.2025)

2. Применение микроволновых датчиков движения в системах "умного дома" – [Электронный ресурс]. – URL: https://www.elektro-expo.ru/ru/articles/24077/ (Дата обращения: 02.04.2025).

3. Микроволновый датчик движения: принцип работы – [Электронный ресурс]. – URL: https://samara-ohrana.ru/wiki/lichnaya-bezopasnost/mikrovolnovyy-datchik-dvizheniya-printsip-raboty/ (Дата обращения: 02.04.2025).

СЕКЦИЯ 5
«ИНФОРМАТИКА»

УДК 004.9:616.15

ПРИМЕНЕНИЕ КЛАССИЧЕСКОГО МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ГЕМАТОЛОГИИ

Славинский Г.А., магистрант

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Боброва Н.Л. – канд. техн. наук, доцент

Аннотация. В статье рассматриваются классы задач и методы классического машинного обучения. Представлены примеры задач гематологии, решение которых возможно с помощью классического машинного обучения. Выделены преимущества и недостатки, описаны примеры успешной реализации. Выдвинуто предположение о будущем указанного направления в медицине.

Ключевые слова. Машинное обучение, персонализированная медицина, гематология, биоинформатика.

Введение. Современная медицина становится все более персонализированной и ориентированной на пациента, стремится к использованию индивидуальных профилей пациентов для разработки и выбора возможных вариантов диагностики и лечения [1].

Использование больших данных и аналитики делает возможным принятие более обоснованных решений, основанных на индивидуальных характеристиках пациента и его медицинской истории, что создает основу для интеграции методов машинного обучения.

Машинное обучение позволяет компьютерным системам обучаться и адаптироваться к новым данным без прямого программирования [2]. Данная область знаний получила широкое распространение в гистологических исследованиях, геномике и анализе медицинских данных. Таким образом, технологии искусственного интеллекта продолжают интегрироваться в исследовательскую и практическую медицину, включая гематологию [3].

Гематология является областью медицины, изучающей заболевания крови и кроветворных органов, включая анемии, лейкемии, лимфомы, тромбоцитопении. Ее **з**начимость заключается в серьезных последствиях патологий кроветворения для здоровья пациентов, что требует комплексного подхода к диагностике и лечению заболеваний.

Область машинного обучения включает несколько основных направлений, к которым относятся ансамблевое обучение, нейронные сети и глубокое обучение, обучение с подкреплением и классическое машинное обучение [4]. В данной статье рассматривается классическое обучение.

Определение классического машинного обучения. Классическое машинное обучение представляет собой совокупность традиционных статистических и математических методов, что способны эффективно справляться с обработкой небольших наборов данных.

К основным особенностям классического машинного обучения относятся:

– использование классических алгоритмов;

– эффективная работа с небольшими наборами данных;

– решение формальных задач, таких как поиск и классификация;

– возможность применения технологии в различных областях.

В классическом машинном обучении выделяют два подхода к построению моделей [5]:

– обучения модели с учителем;

– обучения модели без учителя.

Обучение с учителем. Данный подход является одним из наиболее распространенных в машинном обучении, и применяется в распознавание речи, компьютерном зрении, прогнозировании. При подходе обучения с учителем, модель обучается на основе набора размеченных данных, где каждый пример имеет соответствующую метку – желаемый выход модели, то есть установлены пары «вход-выход».

Обучение с учителем включает две подкатегории:

– классификация;

– регрессия.

Классификация направлена на предсказание категориальных меток на основе входных данных. Ее задача заключается в разделении множества объектов на группы, называемые классами, в зависимости от их характеристик, и предсказании того, к какому классу принадлежит объект [6].

В процессе классификации алгоритмы обучаются на размеченных данных, где каждому объекту уже присвоена категория. После обучения модель может предсказывать категории для новых данных.

Классификация может быть бинарной, ограничивающейся только двумя классами, или многоклассовой, что предполагает наличие более двух классов. Это зависит от задачи.

Примерами применения классификации в гематологии являются патофизиологический анализ гемограмм и оценка типовых нарушений системы крови [7]: классификация типов клеток крови (эритроцитов, лейкоцитов, тромбоцитов) на основе морфологических характеристик; классификация патологических клеток. Примером патологических клеток являются бластные клетки при лейкозах [8].

Среди основных методов классификации можно выделить [5]: логистическую регрессию**; k-**ближайших соседей; деревья решений; случайный лес.

В машинном обучении, классификация выделяется эффективностью в обработке задач с несколькими установленными классами, и находит широкое применение в различных областях, включая медицинскую диагностику, фильтрацию, распознавание изображений.

Регрессия используется для предсказания непрерывных числовых значений на основе независимых признаков. Модель обучается на размеченных данных, чтобы установить связь между зависимой переменной, то есть выходом, и одной или несколькими независимыми переменными, то есть входами [6].

Способность к моделированию делает регрессию важным инструментом прогнозирования в различных областях, включая медицину. Она помогает не только в предсказании будущих значений на основе имеющихся данных, но и способствует пониманию взаимосвязей между переменными, что имеет большое значение для принятия решений.

Примеры применения регрессии в гематологии [8]:

– Прогнозирование показателей: предсказание уровня гемоглобина на основе таких факторов, как возраст, пол, и наличие хронических заболеваний; предсказание количества клеток крови (эритроцитов, лейкоцитов, тромбоцитов) на основе определенных показателей.

– Оценка влияния: анализ того, как различные методы лечения влияют на количество лейкоцитов или тромбоцитов в крови; предсказание ответных реакций на различные подходы к терапии, основываясь на их индивидуальных характеристиках пациента.

– Анализ факторов риска: регрессия может быть использована для выявления факторов развития анемии на основе данных пациента и его медицинской истории; регрессионный анализ способен помочь в изучении связей между уровнями различных биомаркеров в крови и наличием определенных заболеваний, таких как лейкемия или лимфома.

Среди основных методов регрессии можно выделить [5]: линейную регрессию; множественную регрессию; полиномиальную регрессию.

Таким образом, классификация в машинном обучении — это отнесение объекта к одному из классов на основании его признаков. В отличие от регрессии, где предсказываются непрерывные значения, классификация фокусируется на предсказании дискретных меток, таких как «да» или «нет», «болен» или «здоров».

Обучения без учителя. При данном подходе модель обучается на неразмеченных данных, без заранее известных правильных ответов или меток для входных данных. Объекты группируются на основе их сходства. Целью обучения является выявление скрытых закономерностей, то есть попытка поиска связей в данных без внешнего руководства.

Обучение без учителя используется в тех случаях, когда нет заранее известных правильных ответов, но необходимо найти скрытые закономерности в данных. Это особенно полезно при анализе больших объемов неструктурированных данных, когда нужно выявить внутренние связи и группы.

Обучение без учителя включает следующие подкатегории:

– кластеризация;

– поиск ассоциативных правил.

– снижение размерности данных.

Кластеризация – это метод машинного обучения, который используется для группировки объектов в кластеры таким образом, чтобы объекты внутри одного кластера были скорее похожи друг на друга, чем на объекты из других кластеров. Цель кластеризации заключается в разбиении данных на группы с учетом сходства объектов [9].

Данный процесс имеет следующие задачи:

– разбиение множества объектов на группы, согласно выделенным признакам;

– выделение нетипичных объектов, не подходящих ни к одному из кластеров;

– построение иерархии множества объектов.

Методы кластеризации разбивают данные на группы таким образом, чтобы объекты внутри каждой группы были похожи друг на друга. В отличие от классификации, где объекты распределяются по заранее известным категориям, кластеризация работает без меток, и осуществляет поиск групп в данных. Это делает использование кластеризации удобным в ситуациях, когда заранее неизвестно как само количество существующих групп, так и их характеристики.

Примеры применения кластеризации в гематологии [8]:

– Группировка клеток крови на основе их морфологических или биохимических характеристик для выявления подтипов. Это может помочь в оценке риска определенных категорий заболеваний, исходя из данных о составе крови.

– Объединение пациентов в группы на основе их показателей, для выявления подгрупп с общими особенностями. Это может быть полезно для разработки персонализированных подходов к лечению и мониторингу состояния здоровья пациентов.

– Кластеризация клеток с целью выявления увеличенного количество кластеров и, как следствие, заключения о клиническом проявлении заболевания.

Среди основных алгоритмов кластеризации можно выделить [5]: иерархическую кластеризацию; k-means; алгоритм DBSCAN.

Кластеризация предоставляет большие возможности для анализа данных, и способна выявлять скрытые паттерны. Эти примеры демонстрируют как сильные стороны рассматриваемых технологий, так и возможность интеграции методов машинного обучения в медицинскую практику, с целью повышения эффективности диагностики и лечения.

Уменьшение размерности – это набор техник, направленных на уменьшение числа признаков в наборе данных. Данный набор техник способен значительно улучшить производительность алгоритмов машинного обучения, упростить модели, ускорить обучение, уменьшить риск переобучения [9].

В задачах со слишком большим пространством признаков или значительным уровнем шума в информации, подобный подход может помочь уменьшить размерность данных, сохранив наиболее важную информацию. Это способствует ускорению работы алгоритмов, уменьшению уровня шума и избыточности в данных. Таким образом, цель уменьшения размерности заключается в сокращение количества признаков в данных и сохранении максимума полезной информации.

В контексте применения машинного обучения в гематологии, данный набор техник способен к определению наиболее информативных характеристик клеток, такие как размер, форма и текстура, что способно упростить последующий анализ и визуализацию данных.

Среди основных методов уменьшения размерности можно выделить [5]: анализ главных компонент (PCA), линейный дискриминантный анализ (LDA).

Таким образом, методы уменьшения размерности способны помочь в упрощении сложных наборов данных, сохраняя при этом наиболее значимую информацию. Это актуально для медицины, где данные могут содержать множество признаков, включая морфологические характеристики клеток крови, генетические маркеры и результаты лабораторных тестов.

Поиск правил в машинном обучении является процессом выявления закономерностей и правил из данных. Он часто используется для принятия решений и предсказаний. Данный подход может быть особенно полезен в медицине, где необходимо интерпретировать данные, делая выводы на основе выявленных закономерностей [9]. Целью поиска правил является выявление скрытых закономерностей и ассоциативных правил в данных.

Примеры использования ассоциативного анализа в гематологии [8]:

– выявление факторов риска развития заболеваний на основе медицинских данных;

– выявление корреляций между морфологическими признаками клеток и их типами.

Среди основных методов поиска ассоциативных правил можно выделить [5]: алгоритмы ассоциативного анализа, примером являются Apriori и FP-Growth.

Применение поиска правил способно привести к значительным улучшениям в принятии решений, повышению эффективности процессов.

Примеры успешных реализаций. Гематологическая аналитика подразумевает автоматизированный анализ крови, предоставляющий клиническую информацию о состоянии кроветворной системы [8]. Традиционные анализаторы являются дорогими и громоздкими устройствами, их доступность может быть сомнительной. С другой стороны, ряд успешных стартапов разрабатывают решения, устраняющие эти неудобства с помощью технологий искусственного интеллекта, облачных вычислений и микрофлюидики.

Примером такого стартапа является устройство, разработанное компанией Sight Diagnostics, способное выполнить общий анализ крови за несколько минут. Анализатор использует алгоритмы машинного зрения и позволяет проводить анализ прямо в кабинете врача. Другим интересным примером является устройство, разработанное PixCell Medical, способное выполнить дифференциальный анализ по капле крови за 6 минутам. В проекте применен анализ изображений на основе искусственного интеллекта.

Помимо гематологии, машинное обучение успешно оказывает влияние и на другие области медицины, включая фармакологию. Стартап ClosedLoop.ai использует прогнозирующие модели для анализа данных о здоровье пациентов и предсказания результатов лечения. Стартап BenevolentAI использует алгоритмы для анализа различных данных, стремясь к выявлению новых возможностей в терапии, что значительно сокращает время и затраты на разработку новых медикаментов.

Таким образом, использование машинного обучения в гематологии и фармакологии существенно влияет на точность и скорость обработки медицинской информации, что способно оказать положительное влияние на лечение различных заболеваний крови.

Преимущества и недостатки применения классического обучения в гематологии. Машинное обучение обеспечивает новые возможности для обработки стремительно растущих объемов

информации. Алгоритмы позволяют исследовать генетические вариации и их связь с заболеваниями, что способствует понимания механизмов заболеваний и разработке целевой терапии.

Классическое машинное обучение предоставляет мощные инструменты для эффективной классификации различных типов заболеваний, прогнозирования вероятности рецидива или ответа на лечение, определение индивидуализированного подхода к лечению, выявления скрытых паттернов и связей, что не заметны при традиционных методах анализа.

Преимущества использования классического обучения в гематологии:

– высокая точность диагностики заболеваний;

– способность к более глубокому пониманию патофизиологий.

Недостатки классического обучения в гематологии:

– необходимость в больших объемах данных;

– зависимость от качества данных.

Таким образом, классическое обучение в гематологии имеет свои сильные и слабые стороны, которые важно учитывать при выборе методов диагностики и лечения.

Заключение. Благодаря своей способности обрабатывать и анализировать большие объемы данных, классическое машинное обучение имеет значительный потенциал как в гематологии, так и разработке новых лекарственных препаратов. Оно способно улучшить диагностику состояния здоровья пациентов, персонализировать лечение и оптимизировать клинические процессы.

Большое количестве задач, при решении которых вполне обоснованно применение методов классического машинного обучения, отражает актуальность их использования в гематологии. Предполагается, что необходимость использования методов машинного обучения будет расти вместе с объемами информации. Повсеместная цифровизация отраслей только подчеркивает актуальность использования современных методов обработки информации в медицине.

Список использованных источников:

1. Blobel, B. Translational medicine meets new technologies for enabling / B. Blobel // Studies in Health Technology and Informatics. – 2013. – №189 – P. 8–23.

2. Глубокое обучение в биологии и медицине / Рамсундар Б. [и др.]. – Москва : ДМК, 2020. – 200 с.

3. Лучинин, А. С. Искусственный интеллект в гематологии / А. С. Лучинин // Клиническая онкогематология. – 2022. – №15. – С. 16-27.

4. Mitchell, T. M. Machine learning / T. M. Mitchell – New York ; McGraw-Hill Education, 1997. – 432 p.

5. Чернавин, П. Ф. Практический курс классического машинного обучения с использованием моделей математического программирования: учебное пособие. / П. Ф. Чернавин, Н. П. Чернавин, Ф. П. Чернавин. – Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2023. – 124 с.

6. Кугаевских, А. В. Классические методы машинного обучения: учебное пособие. / А. В. Кугаевских, Д. И. Муромцев, О. В. Кирсанова. – Санкт-Петербург : ИТМО, 2022. – 53 с.

7. Черных, Е. М., Компьютерная система классификации лейкоцитов на изображениях клеток крови / Е. М. Черных, В. М. Михелев // Научные результаты. Информационные технологии. – Белгород : БелГУ, 2019. – №3 – С. 25 – 32.

8. Висмонт, Ф. И. Патофизиологический анализ гемограмм и оценка типовых нарушений системы крови: учебное пособие. / Ф. И. Висмонт, Л. С. Лемешонок, Д. М. Попутников. – Минск : БГМУ, 2011. – 79 с.

9. Флах, П. Машинное обучение. Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных./ П. Флах – Москва : ДМК Пресс, 2015. – 387 с.

UDC 004.9:616.15

APPLICATION OF CLASSICAL MACHINE LEARNING IN HEMATOLOGY

Slavinsky G.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Boborova N.L. – PhD in Technical Sciences, Associate Professor

Annotation. The article discusses the classes of problems and methods of classical machine learning. It presents examples of hematology tasks that can be solved using classical machine learning. The advantages and disadvantages are highlighted, along with examples of successful implementations. A hypothesis about the future of this direction in medicine is proposed.

Keywords. Machine learning, personalized medicine, hematology, bioinformatics.

УДК 659.1:004.77

МЕТОДЫ АНАЛИЗА ДАННЫХ И ОПТИМИЗАЦИИ РЕКЛАМНЫХ СТРАТЕГИЙ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ

Борисюк Ф.А., аспирант

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Батура М.П. – д.т.н., профессор

Аннотация. Социальные сети стали важнейшим инструментом маркетинга, позволяя анализировать поведение пользователей и адаптировать рекламные стратегии. В работе рассматриваются методы анализа данных, включая обработку естественного языка (NLP), машинное обучение, графовые и оптимизационные модели. Описаны алгоритмы классификации, кластеризации и глубоких нейронных сетей, применяемые для предсказания интересов аудитории. Особое внимание уделено многокритериальной оптимизации, влияющей на бюджетирование и эффективность рекламных кампаний. Работа подчеркивает важность аналитики данных в персонализации рекламы, прогнозировании поведения пользователей и повышении рентабельности маркетинговых вложений.

Ключевые слова.. Социальные сети, маркетинг, машинное обучение, анализ данных, таргетированная реклама, NLP, нейронные сети, оптимизационные модели, рекламные стратегии, кластеризация, классификация, прогнозирование, персонализация, ROI, Big Data, LSTM, инфлюенсеры, анализ тональности, многокритериальная оптимизация, пользовательские предпочтения, рекламные кампании, цифровая реклама, аудитория, AI, CTR, CPA, CPC, CPM.

Социальные сети стали феноменом 21 века, за короткий срок они стали неотъемлемой частью жизни людей, по данным исследований, глобальное количество активных пользователей платформ превышает 4.9 млрд человек, при этом каждая из сетей обладает уникальными демографическими характеристиками. Например, аудитория Вконтакте (ВК, по данным за 2023 год, ежемесячная аудитория соцсети составила 76 млн пользователей, что на 13 % больше, чем в 2022 году.) преимущественно сосредоточена в возрастной группе 18–34 года, тогда как Одноклассники (ОК).

сохраняет популярность среди лиц старше 45 лет [1]. Важно отметить, что растёт не только популярность социальных сетей, но и время, которое люди проводят в социальных сетях, для многих пользователей уже вошло в привычку неоднократное ежедневное проявление той или иной активности, будь то общение с друзьями, просмотр ленты новостей, публикация разнообразного контента и т.д. [2], это подтверждается средним временем, которое пользователи проводят в социальных сетях [3].

Такое беспрецедентное распространение социальных сетей создало новый глобальный рынок рекламы. Отличительными особенностями этого рынка являются огромное количество информации, собираемой о пользователях, что, в свою очередь, дает возможность точного таргетирования проводимых рекламных компаний на определенные сегменты аудитории за счет предоставляемой платформой информации и появление новых рекламных стратегий, которые ориентированы на тесную взаимосвязь с пользователями посредствам социальных сетей, к таким стратегиям можно отнести: событийный маркетинг [4] и маркетинг влияния [5], они уже зарекомендовали себя как эффективные и часто используемые стратегии, их появление тесно связано с феноменом социальных сетей. Рекламные стратегии всё чаще строятся на социальных сетях, на них тратятся миллиардные бюджеты [6], в связи с растущем влиянии социальных сетей на пользователей и всё большем использованием их как инструменты продвижения, ключевой задачей становится не просто таргетирование рекламы, но и предсказание поведения пользователей и их реакции на проводимые рекламные компании.

Получение столь подробной и точной аналитики требует крайне глубокий и эффективный анализ всего огромного количества собираемых пользовательских данных. Принимая во внимание, настолько велик объем данных, изучение и поиск оптимального решения анализа данных социальных сетей является актуальной и важной темой. Поэтому для более глубокого понимания задачи рассмотрим типы данных, собираемые социальными сетями для дальнейшего анализа. Первым является непосредственная активность пользователей, что они публикуют, это могут быть фотографии, тексты, видео, лайки, репосты и комментарии. Эти данные используются в основном для определения настроений пользователей (sentiment analysis) [7]. Ко второму типу относятся метаданные, к ним относится информация о том, кто публикует контент, где находится пользователь, с кем он связан, насколько он активен, на основе этих данных анализируется паттерны активности пользователей, которые могут указывать на их предпочтения и будущие действия, также анализировать их геоданные. К третьему типу относят поведенческие данные, а именно, привычки пользователей привычки, частоту использования платформы, взаимодействие с контентом и другими пользователями. Эти данные используются для создания профилей пользователей, которые затем могут быть использованы для таргетированной рекламы и персонализации контента [8]. Сбор такого огромного количества информации приводит обсуждениям среди экспертов, насчет правомерности сбора всех этих данных и

приватности пользователей, основной темой исследований является изучение возможностей влияния на людей посредством социальных сетей [9].

Для анализа полученной информации есть множество методов анализа данных, выбор конкретного зависит от типа анализируемых данных и желаемого результата, далее в статье будут рассмотрены методы анализа данных и принцип их работы внутри рекламных кампаний.

Машинное обучение активно применяется для прогнозирования поведения пользователей в социальных сетях с использованием различных методов, таких как классификация, кластеризация и глубокие нейронные сети. Классификация используется для предсказания вероятности конкретного поведения пользователя, например, для определения того, будет ли пользователь взаимодействовать с рекламным контентом (кликнув на объявление или совершив покупку). Это осуществляется с помощью алгоритмов, таких как метод опорных векторов (SVM), деревья решений и логистическая регрессия, которые анализируют исторические данные о действиях пользователя, включая клики, лайки и комментарии, и на основе этих данных строят модель, предсказывающую его будущие предпочтения. Важной особенностью моделирования клиентского поведения является способность машинного интеллекта практически полностью декомпозировать все как очевидные, так (что наиболее важно) все неочевидные корреляции – у серьезных разработок поток анализа может составлять несколько сотен параметров, что в принципе не может быть доступно даже группе аналитиков [10]. Прогнозируемое поведение основывается на анализе поведенческих паттернов и темпоральных данных, что позволяет рекламодателям таргетировать пользователей с высокой вероятностью отклика.

Кластеризация – это метод неконтролируемого обучения, направленный на сегментацию пользователей на группы с схожими интересами или поведением. При этом алгоритмы кластеризации, такие как k–means или DBSCAN, позволяют разделить пользователей на гомогенные сегменты, исходя из их активности в сети (например, частота лайков, тип контента, с которым взаимодействуют пользователи, или их демографические данные). Это предоставляет рекламодателям возможность настраивать таргетированные рекламные кампании, ориентированные на специфические интересы каждой группы. Недостатками большинства традиционных алгоритмов кластеризации являются высокая вычислительная сложность и то, что они плохо масштабируются с размером очень больших наборов данных, поэтому в последние несколько лет разработка усовершенствованных алгоритмов кластеризации получила много внимания. Существуют различные методы кластеризации, которые можно использовать для обработки очень больших наборов данных. Эти методы можно разделить на методы разбиения, иерархические, основанные на сетке, основанные на плотности, основанные на модели и основанные на ограничениях [11].

Глубокие нейронные сети играют важную роль в анализе больших и сложных данных, таких как текстовые данные, изображения и видео, с целью выявления скрытых закономерностей и более глубокого понимания поведения пользователей. Архитектуры, такие как сверточные нейронные сети (CNN) для анализа изображений и рекуррентные нейронные сети (RNN) или трансформеры для обработки текстовых данных, могут анализировать контент, загруженный пользователями, в том числе, фотографии, видеоматериалы и текстовые посты. Эти нейронные сети способны выделять семантические особенности контента, такие как объекты на изображениях, эмоции в текстах, а также прагматические паттерны в поведении пользователей. Есть множество реализаций глубоких нейронных сетей, одним из наиболее перспективным является LSTM-модели с байесовской оптимизацией (BO-LSTM), этот метод достиг 99% точности, что на 9,62% выше по сравнению с альтернативными подходами, такими как Random Forests, RNN Based Click Stream Model и Gradient Tree Boosting Method [12].

Машинное обучение, включая методы классификации, кластеризации и глубоких нейронных сетей, предоставляет мощные инструменты для анализа поведения пользователей в социальных сетях, что позволяет не только улучшить сегментацию аудитории и прогнозировать ее интересы, но и создавать высокоэффективные и персонализированные рекламные стратегии. Среди ключевых преимуществ таких методов можно выделить высокую точность предсказаний, возможность обработки больших объемов данных, автоматизацию процессов анализа, адаптивность к изменениям пользовательских предпочтений и способность выявлять сложные взаимосвязи, недоступные для традиционных аналитических методов. Однако, несмотря на очевидные плюсы, существуют и недостатки, среди которых можно выделить сложность интерпретации моделей, необходимость больших объемов обучающих данных, высокие вычислительные затраты и вероятность появления алгоритмических ошибок, таких как переобучение или предвзятость модели.

Распространенным подходом для анализа также является метод NLP (Natural Language Processing), обработка естественного языка представляет собой междисциплинарную область исследований, объединяющую лингвистику и машинное обучение, и направленную на разработку алгоритмов и моделей, способных анализировать, интерпретировать и генерировать человеческий язык в его естественной форме. Основной принцип работы NLP базируется на трансформации неструктурированных текстовых данных в структурированные представления, пригодные для машинной обработки, через последовательность лингвистических и статистических преобразований. В результате

получаются рекомендации по оптимизации маркетинговых стратегий. К преимуществам такого подхода можно отнести автоматизацию анализа больших объемов текстовых данных, анализ тональности для мониторинга репутации и прогнозирования трендов, глубокий семантический анализ благодаря трансформаторным архитектурам (BERT). А к недостаткам зависимость от качества данных, многозначность языка, высокие ресурсозатраты и необходимость постоянной обучать моделей для актуальности и возможность работы только с текстовыми данными. Однако, при всех этих минусах, согласно исследованиям, при совмещении естественной обработки языка совместно с такими алгоритмами, как алгоритм светлячков (Firefly Algorithm) позволяет добиться высоких результатов, а именно система достигла таких показателей производительности, как точность (98,4%), прецизионность (97,5%), полнота (97,7%) и оценка F1 (96,2%), превзойдя существующие методы [13]. Что наглядно демонстрирует, преимущества композиционного подхода при реализации NLP и его полезность как инструмента анализа за счет высокой точности прогнозирования интересов и предпочтений пользователей.

Графовые модели играют ключевую роль в анализе социальных сетей, предоставляя эффективные инструменты для изучения структуры и динамики взаимодействий между пользователями. В контексте социальных сетей каждый пользователь представляет собой узел, а связи между пользователями – рёбра графа [14].

Этот подход позволяет исследовать не только локальные связи, но и глобальную структуру социальной сети, выявляя паттерны взаимодействий и определяя роль отдельных элементов в распространении информации и формировании общественного мнения.

Одним из важнейших аспектов графового анализа является поиск центральных узлов (или центральность узлов). Центральные узлы сети характеризуются высокой степенью связности, что указывает на их важность в контексте распространения информации. В теории графов используются различные метрики для оценки центральности, такие как степень центральности (degree centrality), которая измеряет количество прямых связей у узла, и центральность по близости (closeness centrality), оценивающая, насколько быстро узел может достичь других узлов сети [15]. Эти метрики позволяют выделить пользователей, которые играют ключевую роль в распространении контента, что делает их важными объектами для таргетированной рекламы. Рекламные кампании, нацеленные на центральные узлы, могут значительно повысить эффективность за счет охвата большого числа пользователей через высоко связных участников сети.

В графовых моделях активно используется метод выявления сообществ (community detection), который позволяет анализировать структуру сети с целью обнаружения групп пользователей, взаимодействующих между собой интенсивнее, чем с остальной сетью. Сообщества в социальных сетях могут быть интерпретированы как плотные подгруппы пользователей, имеющих схожие интересы, взгляды или поведение. Алгоритмы, такие как метод кластеризации на основе модульности (например, алгоритм Лувена), позволяют эффективно выделять такие сообщества, минимизируя количество связей между группами. Анализ сообществ предоставляет ценную информацию для построения персонализированных рекламных стратегий, ориентированных на узкие целевые аудитории с общими интересами. Это позволяет рекламодателям повышать релевантность контента и увеличивать вовлеченность пользователей [16].

Выявление ключевых инфлюенсеров (influencer identification) представляет собой ещё одну важную задачу в рамках графового анализа. Инфлюенсеры – это пользователи, обладающие значительным влиянием на поведение других участников сети. Выделение таких пользователей осуществляется с помощью метрик, таких как бета–центральность (betweenness centrality), которая измеряет количество кратчайших путей, проходящих через узел, и влияние через пул авторитетов (authority influence). Инфлюенсеры играют критическую роль в распространении информации и могут значительно повлиять на мнение пользователей. Использование инфлюенсеров в рекламных кампаниях позволяет повысить доверие к бренду и усилить эффект от рекламных сообщений, так как рекомендации от таких пользователей воспринимаются как более естественные [17].

Таким образом, графовые модели позволяют глубоко исследовать структуру и динамику социальных сетей, выявлять ключевые узлы, сообщества и инфлюенсеров, что открывает возможности для более эффективного таргетирования рекламных стратегий. Эти методы обеспечивают более высокую степень персонализации и точности в доставке рекламных материалов, что в свою очередь повышает общую эффективность рекламных кампаний.

Оптимизационные модели играют ключевую роль в рекламе, позволяя эффективно распределять ресурсы и разрабатывать стратегии для достижения максимального эффекта при минимальных затратах. В цифровом маркетинге и рекламе в социальных сетях оптимизация способствует повышению рентабельности инвестиций (ROI) и достижению маркетинговых целей.

Линейное программирование является одним из наиболее распространенных методов оптимизации [18]. Оно решает задачи, где отношения между переменными представлены линейными уравнениями или неравенствами. В контексте рекламных кампаний линейное программирование

помогает определить оптимальное распределение бюджета между различными каналами или форматами рекламы, стремясь к максимальной эффективности при минимальных затратах.

Целевая функция в таких задачах может включать метрики, как показатель конверсии, стоимость за клик (CPC), стоимость за тысячу показов (CPM), стоимость за действие (CPA) и другие показатели, которые соответствуют целям рекламной кампании. Например, задача может заключаться в минимизации стоимости за клик при условии, что суммарный бюджет не превышает установленного лимита. Ключевыми ограничениями будут являться доступные ресурсы, такие как общий рекламный бюджет, ограничения по количеству показов или времени размещения рекламы.

Для более сложных задач используется нелинейное программирование, которое позволяет учитывать более сложные зависимости, например, когда эффективность рекламы зависит не только от бюджета, но и от многих других факторов (время суток, сезонность, поведение целевой аудитории и т.д.). Нелинейные модели могут включать такие параметры, как динамическая стоимость клика или повышение вовлеченности при увеличении бюджета. Кроме того, часто используется метод многокритериальной оптимизации, когда необходимо учитывать не один, а несколько факторов, таких как максимизация охвата, вовлеченности и минимизация затрат. Такая оптимизация является важным инструментом в процессе принятия решений в маркетинге и управлении рекламными кампаниями. Она особенно актуально для маркетинговых решений, где необходимо учитывать экономические, социальные, культурные и законодательные факторы, а также влияние технологических изменений на бизнес. Однако одним из недостатков многокритериальной оптимизации является сложность интерпретации результатов, поскольку не всегда возможно применять методы теории игр для оценки экономических, инженерных и управленческих решений [19]. Это означает, что маркетологи и аналитики должны учитывать неопределенность данных и возможные риски при принятии решений. В целом, многокритериальная оптимизация в маркетинге позволяет учитывать множество факторов при принятии решений, обеспечивая более точное прогнозирование эффективности стратегий. Однако сложность анализа и необходимость выбора корректных методов нормализации данных остаются основными проблемами при ее применении.

Важной составляющей оптимизационных моделей является моделирование эффектов перекрытия (cannibalization effects), когда реклама на разных платформах может конкурировать за одну и ту же аудиторию. Это требует разработки более сложных моделей, которые учитывают взаимное влияние каналов рекламы и позволяют точно распределять бюджет между ними. Модели могут учитывать как прямой, так и косвенный эффект рекламы на разных платформах, что особенно важно для многоканальных рекламных кампаний [20]. Оптимизационные модели в рекламе используют математические и статистические методы для того, чтобы эффективно распределять бюджет, выбирать оптимальные рекламные стратегии и каналы, учитывать множество факторов, влияющих на эффективность кампании, и на основе этих данных прогнозировать наилучшие результаты. Применение таких моделей позволяет повысить эффективность рекламных вложений, снизить риски и обеспечить максимальную отдачу от рекламных усилий.

Социальные сети, как мощный инструмент цифровой эпохи, требуют применения разнообразных аналитических методов, каждый из которых решает уникальные задачи и дополняет другие подходы. NLP специализируется на интерпретации текстового контента, раскрывая эмоциональные тренды и скрытые предпочтения через анализ семантики. Его ключевое преимущество – способность работать с неструктурированными данными, однако он уступает методам машинного обучения в прогнозировании поведенческих паттернов. Машинное обучение, в свою очередь, фокусируется на классификации и кластеризации, выявляя сложные взаимосвязи в действиях пользователей. Например, алгоритмы классификации (логистическая регрессия, SVM) предсказывают индивидуальные реакции на рекламу, а кластеризация (k-means) группирует аудиторию по общим признакам. Однако эти методы менее эффективны в анализе сетевых структур, где доминируют графовые модели. Последние выявляют ключевых инфлюенсеров через метрики центральности и обнаруживают сообщества, что критически важно для вирусного распространения контента. В отличие от них, оптимизационные модели (линейное программирование) решают задачи распределения ресурсов, но не учитывают семантику или социальные связи, что ограничивает их применение без интеграции с другими методами. Преимущество глубоких нейронных сетей – в обработке мультимодальных данных (текст, изображения, видео) и выявлении скрытых закономерностей, что недоступно для традиционных статистических подходов. Однако их «чёрный ящик» усложняет интерпретацию, тогда как графовые методы прозрачны в анализе связей, но требуют больших вычислительных ресурсов для масштабирования. Таким образом, комбинация методов – например, NLP для анализа текстов и графовых моделей для выявления инфлюенсеров – позволяет преодолеть ограничения отдельных подходов и создать комплексные решения.

Синтез методов анализа данных, от семантического до структурного, станет основой для следующего поколения рекламных технологий, где точность прогнозирования и адаптивность к изменениям в социальных сетях будут определять конкурентоспособность маркетинговых стратегий.

Список использованных источников:

1. Голубков, А. А. Стратегия развития маркетинга малого и среднего бизнеса в соцсетях в современных условиях / А. А. Голубков // Прогрессивная экономика. – 2025. – №2 – С. 156-180.

2. Телевной, А. Д. Гибридный метод кластеризации данных при анализе социальных сетей / А. Д. Телевной, С. Е. Иванов // Вестник Евразийской науки. — 2019. — Т 11., №2.

3. DataReportal [Electronic resource] : Digital 2024 April Global Statshot Report. – Mode of access: https://datareportal.com/reports/digital-2024-april-global-statshot . – Date of access: 08.04.2025.

4. Начарова, Л. И. Событийный маркетинг как эффективный инструмент рекламной кампании социальной сети «ВКонтакте» / Л. И. Начарова // Litera. – 2024. – №2. – С.230-236.

5. Карпыкбаева, А. Б. МАРКЕТИНГ ВЛИЯНИЯ (INFLUENCER-МАРКЕТИНГ) КАК СТРАТЕГИЯ БРЕНДА / А. Б. Карпыкбаева // ВЭПС. – 2019. – №4. – С.17-19.

6. Mordor Intelligence Market Research Company [Электронный ресурс] : Анализ размера и доли рынка социальных сетей - тенденции роста и прогнозы (2024 - 2029 гг.) – Режим доступа : https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/global-social-networking-market . – Дата доступа: 08.04.2025.

7. Giachanou A. Like It or Not: A Survey of Twitter Sentiment Analysis Methods / A. Giachanou, F. Crestani // ACM Comput. Surv. – 2017. – №49, Article 28. – P. 1-41.

8. IEEE Xplore [Electronic resource] : Mining Social Media Data for Understanding Students' Learning Experiences. – Mode of access: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6697807. – Date of access: 09.04.2025.

9. Sage Journals [Electronic resource] : Known or knowing publics? Social media data mining and the question of public agency. – Mode of access: https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2053951715611145. – Date of access: 10.04.2025

10. КиберЛенинка [Электронный ресурс] : Применение методов машинного обучения в маркетинговых инструментах. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie–metodov–mashinnogo–obucheniya–v–marketingovyh–instrumentah. – Дата доступа: 09.04.2025.

11. IEEE Xplore [Electronic resource] : DBSCAN: Past, present and future. – Mode of access: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6814687. – Date of access: 09.04.2025.

12. Natural Sciences Publishing (NSP) [Electronic resource] : Deep Learning–Based Mathematical Modelling For Predictive Analysis in Media Consumer Behaviour. – Mode of access: https://www.naturalspublishing.com/files/published/1wm5l2729xxni6.pdf. – Date of access: 10.04.2025.

13. The Science and Information (SAI) [Electronic resource] : Optimizing Social Media Marketing Strategies Through Sentiment Analysis and Firefly Algorithm Techniques. – Mode of access: https://thesai.org/Publications/ViewPaper?Volume=16&Issue=2&Code=IJACSA&SerialNo=112. – Date of access: 10.04.2025.

14. КиберЛенинка [Электронный ресурс] : Модели и методы анализа компьютерных социальных сетей. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/modeli–i–metody–analiza–kompyuternyh–sotsialnyh–setey. – Дата доступа: 10.04.2025.

15. КиберЛенинка [Электронный ресурс] : Центральность распада в социальных графах и адаптированный алгоритм Флажоле–Мартена для ее расчета. – Режим доступа : https://cyberleninka.ru/article/n/tsentralnost–raspada–v–sotsialnyh–grafah–i–adaptirovannyy–algoritm–flazhole–martena–dlya–ee–rascheta. – Дата доступа: 10.04.2025.

16. Журнал «Научный аспект» [Электронный ресурс] : Применение графовых моделей в анализе социальных сетей. – Режим доступа : https://na–journal.ru/5–2024–informacionnye–tekhnologii/11452–primenenie–grafovyh–modelej–v–analize–socialnyh–setej. – Дата доступа: 10.04.2025.

17. КиберЛенинка [Электронный ресурс] : Теоретико–игровая центральность вершин в графах на основе вектора Шепли. – Режим доступа : https://cyberleninka.ru/article/n/teoretiko–igrovaya–tsentralnost–vershin–v–grafah–na–osnove–vektora–shepli. – Дата доступа: 10.04.2025.

18. Хабр [Электронный ресурс] : Решаем прямую задачу линейного программирования симплексным методом, с использованием симплексной таблицы. – Режим доступа : https://habr.com/ru/sandbox/208420/. – Дата доступа: 11.04.2025.

19. Engineering Economics [Electronic resource] : *Multi–criteria Optimization System for Decision Making in Construction Design and Management. – Mode of access: https://www.inzeko.ktu.lt/index.php/EE/article/view/11571. – Date of access: 11.04.2025.*

20. The Public Knowledge Project [Electronic resource] : Promotion optimization in competitive environments by considering the cannibalization effect. – Mode of access: https://journals.sfu.ca/ijietap/index.php/ijie/article/view/8297. – Date of access: 11.04.2025.

UDC 659.1:004.77

METHODS OF DATA ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF ADVERTISING STRATEGIES IN SOCIAL NETWORKS

Borysyuk F.A., Postgraduate Student

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Batura M.P. – Doctor of Technical Sciences, Professor

Annotation. Social networks have become a crucial marketing tool, enabling the analysis of user behavior and the adaptation of advertising strategies. This study explores data analysis methods, including natural language processing (NLP), machine learning, graph–based approaches, and optimization models. It describes classification and clustering algorithms, as well as deep neural networks used for predicting audience interests. Special attention is given to multi–criteria optimization, which impacts budgeting and the effectiveness of advertising campaigns. The paper highlights the importance of data analytics in ad personalization, user behavior prediction, and improving the return on marketing investment.

Keywords. Social networks, marketing, machine learning, data analysis, targeted advertising, NLP, neural networks, optimization models, advertising strategies, clustering, classification, prediction, personalization, ROI, Big Data, LSTM, influencers, sentiment analysis, multi–criteria optimization, user preferences, advertising campaigns, digital advertising, audience, AI, CTR, CPA, CPC, CPM.

УДК 004.932:615.47

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АДАПТИВНОГО ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА БИОМЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Гриценко Н.Ю., аспирант

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Батура М.П. – д.т.н., профессор

Аннотация. В данной работе исследуются математические методы адаптивного повышения качества биомедицинских изображений. Были рассмотрены современные методы, такие как: адаптивная фильтрация (вейвлет-фильтрация), глубокое обучение (сверточные нейронные сети (CNN), генеративно-состязательные сети (GAN)), гибридные методы (нейросети в связке с вейвлет-анализом), трансформеры (ViT, PVT).

Ключевые слова. Обработка изображений, нейронные сети, глубокое обучение, трансформеры.

Введение. Развитие медицинского оборудования способствует увеличению объема и качества данных, однако получаемые изображения часто содержат искажения, такие как шум и размытие, что затрудняет их анализ и диагностику. Для решения этих проблем активно применяются современные математические методы, нейросетевые модели и методы машинного обучения, направленные на повышение качества изображений.

Одним из ключевых математических подходов является адаптивная вейвлет-фильтрация, основанная на вейвлет-преобразовании. Этот метод позволяет разложить изображение на набор базисных функций (вейвлетов), локализованных как в пространственной, так и в частотной областях, что обеспечивает эффективное удаление шума при сохранении важных деталей, таких как контуры и текстуры. Основные этапы вейвлет-фильтрации включают разложение сигнала на коэффициенты, их обработку (например, пороговую фильтрацию) и обратное преобразование для восстановления изображения. Преимущества метода заключаются в его универсальности, локальной адаптации к уровню шума и способности минимизировать артефакты, что делает его применимым для различных типов биомедицинских изображений.

Нейросети, как вычислительные модели, играют важную роль в обработке биомедицинских изображений благодаря своей способности выявлять сложные нелинейные зависимости в данных. Нейросеть (англ. neural network) – это математическая модель, которая имитирует работу человеческого мозга и состоит из множества взаимосвязанных искусственных нейронов. Эти нейроны способны обрабатывать большие массивы данных, находить в них сложные закономерности и обучаться на примерах, что делает нейросети актуальными для решения задач классификации, сегментации и восстановления изображений.

Глубокое обучение – это подраздел машинного обучения, основанный на обучении представлений, где модели автоматически извлекают определенные признаки из данных.

Среди методов глубокого обучения, применимых для повышения качества изображений, выделяются свёрточные нейронные сети (CNN), которые автоматически извлекают локальные признаки, такие как края, текстуры и формы объектов, из изображений, что делает их эффективными для задач классификации, сегментации и восстановления.

Генеративно-состязательные сети (GAN), состоящие из генератора и дискриминатора, используются для увеличения разрешения изображений, восстановления поврежденных данных и создания синтетических изображений, что особенно актуально в условиях ограниченности реальных данных.

Оба метода обладают высокой адаптивностью и могут быть применены для работы с различными типами медицинских изображений, включая рентген, МРТ и УЗИ.

Гибридные методы, сочетающие вейвлет-анализ и нейросетевые модели, представляют собой эффективный подход для обработки сложных сигналов и изображений. Вейвлет-преобразование используется для предобработки данных, удаления шума и выделения информативных признаков, что упрощает задачу обучения нейросетей. Такие методы находят применение, например, в анализе ЭЭГ-сигналов, где вейвлет-анализ помогает выделить шаблоны активности мозга, а нейросети классифицируют состояния пациента. Ключевой особенностью является то, что гибридные подходы позволяют сохранять важные детали изображений.

Трансформеры, основанные на механизме внимания, представляют собой современный подход к обработке изображений, учитывающий глобальные зависимости в данных. Архитектуры, такие как Vision Transformer (ViT) и Pyramid Vision Transformer (PVT), эффективно решают задачи повышения качества, восстановления и анализа медицинских изображений. В отличие от CNN, трансформеры лишены

предвзятости, вызванной локальными свертками, что позволяет им учитывать долгосрочные контекстные зависимости. PVT, с его пирамидальной структурой, особенно эффективен для задач, требующих высокой детализации, таких как сегментация органов или опухолей. Трансформеры также применяются для увеличения разрешения изображений (Super-Resolution) и генерации синтетических данных, что делает их ценным инструментом в условиях ограниченности реальных биомедицинских изображений.

Современные математические методы, включая адаптивную вейвлет-фильтрацию, нейросетевые модели (CNN, GAN), гибридные методы и трансформеры (ViT, PVT), позволяют эффективно повышать качество биомедицинских изображений. Их применение способствует улучшению диагностической точности, автоматизации обработки данных и решению задач в условиях ограниченности исходных данных, что делает их актуальными в современной биомедицине.

Вейвлет-фильтрация. Этот метод сочетает мощь вейвлет-преобразования для анализа изображений в разных частотных диапазонах с адаптивным подходом к фильтрации, основанном на локальных характеристиках изображения. Ключевая идея заключается в том, чтобы не применять фильтрацию ко всему изображению целиком одинаково, а адаптировать процесс фильтрации к различным областям изображения в зависимости от их свойств. Это особенно важно для биомедицинских изображений, где шум и полезные детали могут быть распределены неравномерно [1].

Метод адаптивной вейвлет-фильтрации начинается с вейвлет-разложения. Исходное изображение подвергается дискретному вейвлет-преобразованию, которое раскладывает изображение на несколько поддиапазонов, соответствующих различным частотам и ориентациям. Обычно выделяют низкочастотный поддиапазон, который содержит общую структуру изображения, его "гладкую" версию, похожую на размытую копию оригинала, и высокочастотные поддиапазоны, содержащие детали изображения, такие как края, текстуры и шум. Различные уровни разложения позволяют выделить детали разных масштабов. Вейвлет-разложение обеспечивает мультимасштабное представление изображения, где информация о разных частотах и пространственных областях разделена. На рисунке 1 показано изображение, на примере которого продемонстрировано преобразование. На рисунке 2 показаны пример всех разложений изображения данным методом.

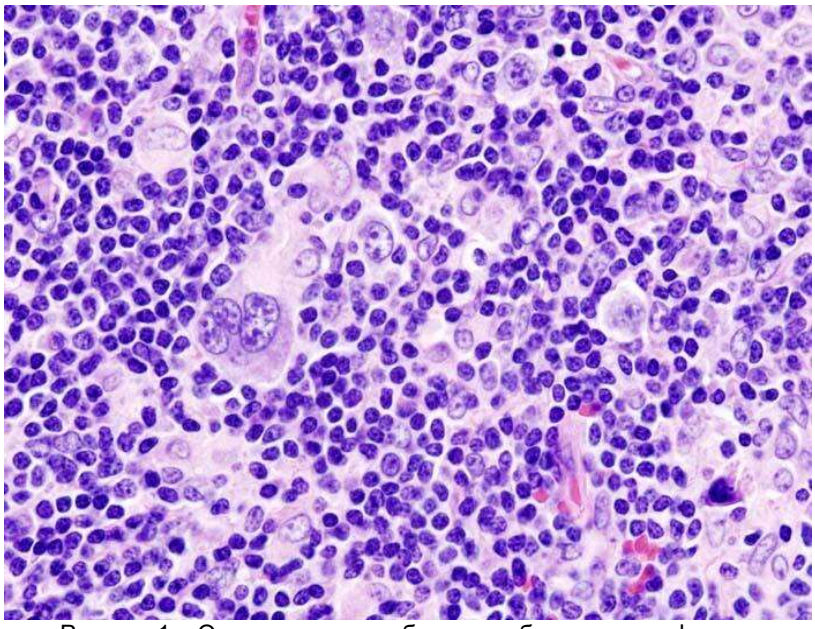


Рисунок 1 – Оригинальное изображение биоптата лимфоузла

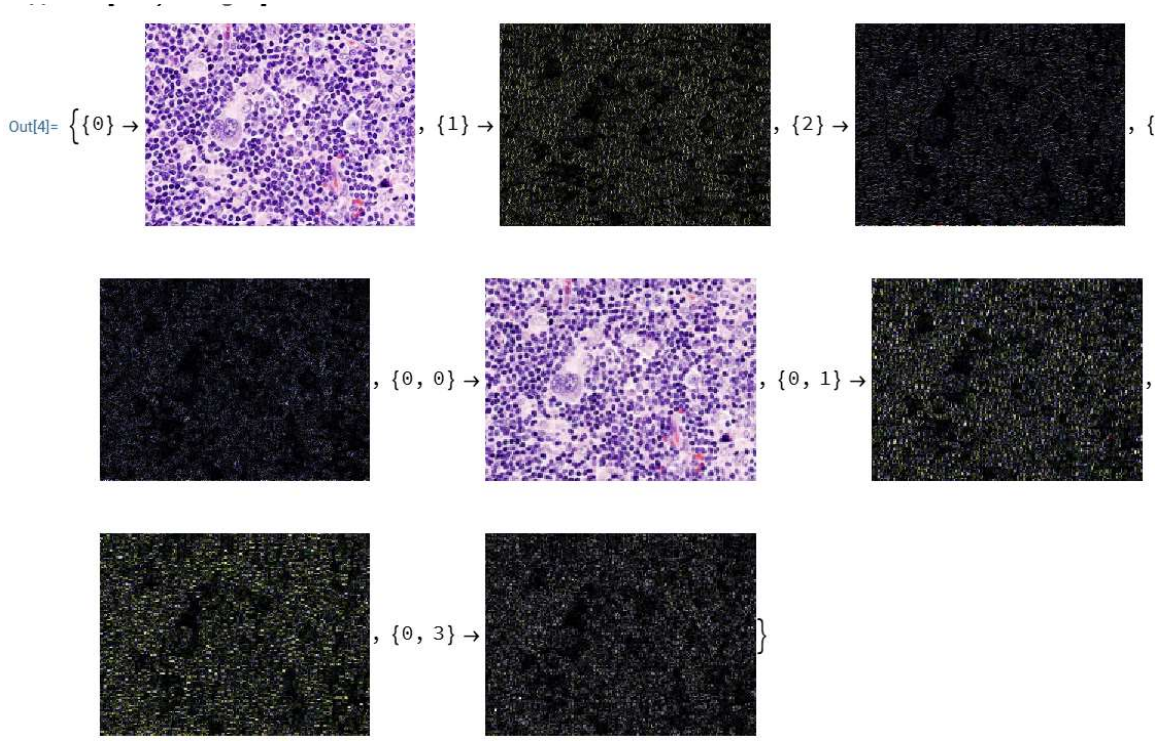


Рисунок 2 – Разложение изображения

Далее происходит локальная оценка характеристик в вейвлет-домене. Именно на этом этапе начинается локальная обработка. Вместо глобальной фильтрации, анализируются вейвлет-коэффициенты внутри небольших локальных областей для каждого поддиапазона. Оцениваются локальные характеристики, которые могут указывать на наличие шума или полезных деталей. Типичные характеристики для оценки включают локальную дисперсию (мера разброса значений коэффициентов в окне, высокая дисперсия может указывать на детали или шум, низкая - на гладкую область), локальную энергию и статистические моменты, такие как асимметрия и эксцесс, которые могут дать дополнительную информацию о распределении коэффициентов и характере сигнала в локальной области.

На основе локальных характеристик, определенных на предыдущем этапе, принимается решение о степени фильтрации для каждого локального окна и каждого поддиапазона, что составляет этап адаптивного фильтрования вейвлет-коэффициентов на основе локальных оценок. Адаптивность проявляется в том, что фильтрация не является фиксированной, а изменяется от области к области. Например, при адаптивном пороговом квантовании, порог устанавливается локально для каждого окна и поддиапазона, определяя, какие вейвлет-коэффициенты будут считаться шумом и будут обнулены или ослаблены.

На последнем этапе выполняется обратное вейвлет-преобразование. После адаптивного фильтрования вейвлет-коэффициентов, выполняется обратное дискретное вейвлет-преобразование которое преобразует модифицированные вейвлет-коэффициенты обратно в пространственную область, формируя фильтрованное изображение. Обратное преобразование изображения из рисунков 1 и 2 показано на рисунке 3.

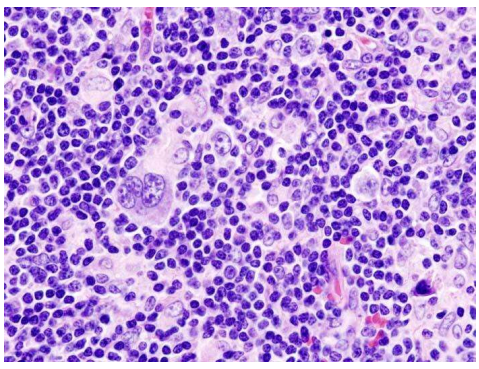


Рисунок 3 – Обратно преобразованное изображение

Адаптивная фильтрация хорошо справляется с неоднородным шумом, часто встречающимся в биомедицинских изображениях, учитывая локальные вариации шума. В результате, по сравнению с глобальными методами фильтрации, адаптивная вейвлет-фильтрация часто обеспечивает улучшенное визуальное качество, аккуратно удаляя шум и сохраняя при этом важную информацию об изображении.

Основной недостаток такой фильтрации – вычислительная сложность, так как локальная обработка и адаптивная оценка характеристик требуют дополнительных вычислений по сравнению с глобальными методами. Агрессивное адаптивное фильтрование, особенно пороговое квантование, иногда может вносить артефакты в изображение, особенно в виде ступенчатых или "блочных" эффектов, если параметры адаптации не подобраны корректно.

Глубокое обучение с использованием CNN сетей и GAN. Метод глубокого обучения для адаптивного улучшения качества изображений с CNN и GAN состоит из нескольких основных компонентов.

Сверточная нейронная сеть (CNN) используется в качестве генератора (G) в GAN, отвечая за преобразование входного изображения с дефектами в улучшенное изображение. Архитектура CNN для генератора может варьироваться, но обычно включает сверточные слои, которые извлекают признаки из входного изображения с помощью обучаемых фильтров, позволяя сети изучать иерархические признаки [2]. Целью CNN в роли генератора является обучение преобразованию дефектного входного изображения в выходное, максимально похожее на идеальное, высококачественное изображение.

Чаще всего используются CNN архитектуры U-net, которая была создана в 2015 году для сегментации биомедицинских изображений. Архитектура сети представляет собой полносвязную свёрточную сеть, модифицированную так, чтобы она могла работать с меньшим количеством примеров (обучающих образов) и делала более точную сегментацию.

Еще одна CNN используется в качестве дискриминатора в GAN. Дискриминаторная сеть предназначена для классификации входного изображения на "реальное" (высококачественное) и "поддельное" (улучшенное генератором). Архитектура дискриминатора включает сверточные слои для извлечения признаков, слои активации для нелинейности и пуллинговые слои для уменьшения размерности. Цель дискриминатора – научиться отличать улучшенные генератором изображения от реальных высококачественных изображений, максимизируя свою способность к правильной классификации.

GAN объединяет генератор и дискриминатор в рамках состязательного обучения. Генератор стремится обмануть дискриминатор, создавая улучшенные изображения, выглядящие как "реальные" и высококачественные, в то время как дискриминатор пытается не быть обманутым, точно различая "реальные" и "поддельные" изображения. Обучение GAN основано на двойной функции потерь: потеря дискриминатора, которая стремится классифицировать реальные изображения как "реальные", а поддельные как "поддельные", и потеря генератора, которая стремится генерировать изображения, классифицируемые дискриминатором как "реальные".

Обучение на разнообразных данных позволяет модели обобщать знания и применять их к новым изображениям. CNN автоматически извлекают признаки, описывающие дефекты и особенности изображения. Состязательное обучение GAN заставляет генератор создавать визуально реалистичные улучшения. Условные GAN могут использовать дополнительную информацию, такую как тип дефекта, уровень дефекта или семантическая информация об изображении, в качестве условия для адаптации улучшения. Например, условием может быть тип дефекта, позволяя обучить отдельные модели для каждого типа или использовать информацию о типе дефекта для обработки нескольких типов.

Процесс обучения начинается со сбора данных, включающего набор пар "дефектное - идеальное" изображение, где "дефектные" изображения могут быть получены искусственно или быть реальными изображениями. Затем определяется архитектура CNN для генератора и дискриминатора, используя существующие архитектуры или разрабатывая собственные. Далее, выбирается функция потерь для GAN. После этого генератор и дискриминатор обучаются итеративно в состязательном режиме, используя оптимизаторы для обновления весов сетей. Наконец, модель валидируется и оценивается на тестовом наборе данных с использованием различных метрик и субъективной оценки качества.

Преимущества метода включают адаптивность к специфическим дефектам, высокое качество результатов, автоматическое обучение и возможность улучшения различных типов дефектов.

Основные недостатки метода – требовательность к данным, потребность в вычислительных ресурсах, нестабильность обучения GAN, возможность появления артефактов и сложность интерпретации работы модели.

Гибридные методы (нейросети в связке с вейвлет-анализом). Эти методы стремятся объединить сильные стороны обоих подходов: способность вейвлет-анализа эффективно представлять изображения в различных частотных диапазонах и мощь нейросетей в обучении сложным нелинейным зависимостям и адаптации к данным. Нейронные сети, особенно CNN, превосходно справляются с обучением сложным преобразованиям изображений, извлечением признаков высокого уровня и адаптацией к различным типам дефектов, представленным в обучающих данных. Стандартные CNN могут неявно обрабатывать частотную информацию, что может быть неоптимально для дефектов,

связанных с шумом и артефактами сжатия. Вейвлет-анализ, напротив, предлагает математически обоснованный и эффективный способ разложения изображений на частотные поддиапазоны, позволяя анализировать и обрабатывать изображение на разных уровнях детализации, выделяя низкочастотные и высокочастотные компоненты. Вейвлет-преобразование обладает хорошими свойствами локализации, но традиционные вейвлет-методы улучшения качества часто являются линейными, ограничивая их адаптивность. Гибридные методы стремятся объединить эти подходы, используя вейвлет-анализ для предобработки или декомпозиции изображений, а нейросети для адаптивного и нелинейного преобразования вейвлет-коэффициентов или субполос, улучшая интерпретируемость, повышая эффективность обучения, качество результатов и снижая вычислительные затраты.

Существует несколько основных типов гибридных методов.

Первый тип использует вейвлет-преобразование как предобработку для нейронной сети. В этом подходе изображение сначала подвергается вейвлет-преобразованию, в результате чего получается набор вейвлет-коэффициентов или субполос. Затем эти вейвлет-коэффициенты, или субполосы, используются в качестве входных данных для нейронной сети. Нейросеть обучается преобразовывать эти вейвлет-коэффициенты таким образом, чтобы после обратного вейвлет-преобразования получилось улучшенное изображение.

В рамках этого подхода существует несколько вариантов реализации. Например, нейросеть может обрабатывать непосредственно все вейвлет-коэффициенты как вектор или многоканальное изображение, используя, скажем, CNN для обработки каждой субполосы как отдельного канала. Другой подход заключается в обработке субполос как отдельных изображений, подавая их на вход CNN, где сеть может обрабатывать их независимо или совместно, например, через конкатенацию признаковых карт. Альтернативно, можно использовать нейросеть для селективной обработки только определенных субполос, таких как высокочастотные, наиболее подверженные шуму или артефактам, оставляя низкочастотные субполосы без изменений или обрабатывая их традиционными методами.

Второй тип гибридных методов представляет собой каскадные методы, где вейвлет-анализ и нейросеть применяются последовательно. Например, изображение сначала может быть обработано традиционными вейвлет-методами улучшения качества, такими как вейвлет-пороговая фильтрация шума, а затем результат подается на вход нейросети для дальнейшего улучшения. В другом варианте последовательности, изображение сначала обрабатывается нейросетью для первичного улучшения, а затем результат подвергается вейвлет-анализу для точной настройки деталей или устранения артефактов, внесенных нейросетью.

Гибридные методы имеют ряд преимуществ, включая улучшенное представление частотной информации, потенциальную повышенную интерпретируемость, возможность комбинирования сильных сторон вейвлет-анализа и нейросетей, потенциальное улучшение качества результатов и возможность снижения вычислительных затрат. Однако существуют и недостатки, такие как сложность архитектуры и обучения.

Трансформеры. Трансформеры, изначально разработанные для обработки естественного языка, оказали революционное влияние и на компьютерное зрение, продемонстрировав впечатляющие результаты в различных задачах, включая улучшение качества изображений.

Vision Transformer (ViT) и Pyramid Vision Transformer (PVT) представляют собой ключевые архитектуры трансформеров, адаптированные для работы с изображениями, предлагая новые возможности для адаптивного улучшения качества, отличные от традиционных сверточных нейронных сетей и гибридных методов [1].

Трансформеры, благодаря механизму внимания, обладают способностью эффективно моделировать долгосрочные зависимости и захватывать глобальный контекст изображения, что критически важно для адаптивного улучшения, поскольку дефекты часто не локальны и зависят от контекста всего изображения. В отличие от CNN с их локальными сверточными операциями, трансформеры лучше справляются с глобальным контекстом.

Vision Transformer (ViT) для адаптации к улучшению качества изображений требует некоторых изменений в архитектуре, изначально предназначенной для классификации. Входное представление в ViT меняется: вместо обработки целого изображения, ViT разбивает его на патчи, небольшие квадратные фрагменты, которые затем "разворачиваются" в векторы и рассматриваются как "токены".

Для обучения ViT применяются функции потерь, измеряющие разницу между улучшенным и идеальным изображениями. Это могут быть пиксельные потери, такие как среднеквадратичная ошибка или средняя абсолютная ошибка, перцептуальные потери, основанные на признаках предобученных сетей, или состязательные потери в рамках GAN, где ViT выступает генератором. Обучение ViT требует парных наборов данных "дефектное - идеальное" изображение, где "дефектные" изображения могут быть искусственно созданы или быть реальными дефектными изображениями. Аугментация данных также важна для увеличения разнообразия обучающих данных.

Pyramid Vision Transformer (PVT) представляет собой усовершенствование ViT, разработанное для задач плотного предсказания и также эффективно адаптируется для улучшения качества изображений, предлагая ряд преимуществ. PVT использует пирамидальную структуру, аналогичную CNN, для

извлечения признаков на разных масштабах, обрабатывая изображение на ранних стадиях с большими патчами и меньшим разрешением, и на поздних стадиях – с меньшими патчами и большим разрешением. Такая пирамида признаков позволяет эффективно захватывать как глобальный контекст, так и локальные детали, что особенно важно для улучшения качества.

В отличие от ViT, обрабатывающего изображение на одном масштабе, пирамидальная структура PVT более эффективно использует вычислительные ресурсы и повышает качество. В PVT размер патчей постепенно уменьшается по мере продвижения по слоям трансформера, используя сверточные слои с шагом для уменьшения разрешения признаковых карт между стадиями пирамиды. Это прогрессивное уменьшение патчей позволяет PVT постепенно увеличивать разрешение и детализацию признаков. Благодаря пирамидальной структуре и уменьшению патчей, PVT может быть более вычислительно эффективным, чем ViT, особенно для изображений высокого разрешения. Для адаптации PVT к улучшению качества, используются подходы, аналогичные ViT, включая энкодер-декодер архитектуру, где энкодер PVT извлекает пирамиду признаков, а декодер восстанавливает улучшенные патчи, механизм внимания для моделирования зависимостей и адаптивной обработки, и аналогичные функции потерь и обучающие данные.

Преимущества трансформеров в улучшении качества изображений включают превосходное глобальное контекстное понимание, адаптивность к пространственно-вариативным дефектам, эффективное моделирование нелокальных взаимодействий и потенциально более высокое качество результатов, а также гибкость архитектуры. Однако, существуют и недостатки. Высокие вычислительные затраты, особенно для ViT, и требовательность к большим объемам данных являются значительными вызовами. Обучение и настройка трансформеров также могут быть сложнее, чем CNN, и интерпретируемость, хотя и присутствует благодаря вниманию, может быть менее прямой, чем у CNN.

Список использованных источников:

1. Elsevier [Electronic resource] : Mallat, S. A Wavelet Tour of Signal Processing: The Sparse Way. – Mode of access: https://www.elsevier.com/books/a-wavelet-tour-of-signal-processing/mallat/978-0-12-374370-1. Date of access: 17.03.2025

2. nature [Electronic resource] : LeCun, Y., Bengio, Y., Hinton, G. Deep Learning. – Mode of access: https://www.nature.com/articles/nature14539. Date of access: 17.03.2025

3. arXiv [Electronic resource] : Dosovitskiy, A. et al. An Image is Worth 16x16 Words: Transformers for Image Recognition at Scale. – Mode of access: https://arxiv.org/abs/2010.11929. Date of access: 19.03.2025

UDC 004.932:615.47

MATHEMATICAL METHODS FOR ADAPTIVE QUALITY ENHANCEMENT OF BIOMEDICAL IMAGES

Gritsenko N.Y., Postgraduate Student

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Batura M.P. – Doctor of Technical Sciences, Professor

Annotation. This work investigates mathematical methods for adaptive quality enhancement of biomedical images. Modern methods have been considered, such as: adaptive filtering (wavelet filtering), deep learning (convolutional neural networks (CNN), generative adversarial networks (GAN)), hybrid methods (neural networks in conjunction with wavelet analysis), and transformers (ViT, PVT).

Keywords. Image processing, neural networks, deep learning, transformers

УДК 004.82

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АССИМЕТРИЧНОГО СЕМАНТИЧЕСКОГО ПОИСКА НА ОСНОВЕ МНОГОМЕРНЫХ ВЕКТОРНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ТЕКСТОВЫХ ДАННЫХ

Рябинкин Г.М., аспирант

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Гецевич Ю.С. – канд. технич. наук

Аннотация. В статье рассматриваются проблемы и подходы к семантическому поиску, основанному на методах глубокого обучения и векторном представлении текстовых данных. Особое внимание уделяется асимметричному семантическому поиску, когда запрос и документы различаются по объему и лексике. Анализируются методы формирования векторных пространств, выбор единиц кодирования (слова, предложения, документы) и метрики семантической близости. Рассматриваются проблемы, возникающие при выборе модели и способа обучения, а также влияние обучающего корпуса на качество результатов поиска.

Ключевые слова. Семантический поиск, векторный поиск, обработка естественного языка, глубокое обучение, векторное сходство, семантическое сходство, векторное представление текста.

Повсеместная цифровизация, охватывающая все сферы общественной жизни вынуждает на постоянной основе манипулировать значительными объемами текстовых данных. Одной из важнейших проблем при работе с информацией становится ее эффективный поиск, позволяющий быстро найти релевантные сведения среди огромных массивов данных. С ростом количества доступной для обработки информации классические поисковые системы полнотекстового поиска перестают справляться с возложенными на них задачами, в первую очередь, при организации взаимодействия в системе «человек-машина», где пользователь ожидает от системы не примитивный поиск по количеству вхождений лексем из поискового запроса, а релевантную выборку на основе семантического сходства с пользовательским запросом [1]. В данной связи, все большую актуальность приобретают подходы, основанные на семантическом поиске, базой технической реализации которых выступают методы глубокого обучения в области обработки естественного языка [2]. Ключевая особенность рассматриваемых методов – модели представления семантической информации на основе многомерных векторов [3].

В настоящее время, несмотря на широкое распространение семантического поиска на основе многомерных векторных представлений текстовых данных, в названном подходе существует ряд проблем, требующих тщательного рассмотрения и решения. Целью работы является осуществление общего обзора задач и подходов, применяемых в рамках семантического поиска текстовой информации и выявление актуальных проблем в данной области. Актуальность исследования обусловлена стремительным ростом объемов доступной текстовой информации, что делает классические поисковые системы менее эффективными. Современные задачи информационного поиска требуют более интеллектуального подхода, основанного на семантическом анализе текстов.

Научная новизна работы заключается в комплексном анализе задач и методов семантического поиска, с особым акцентом на асимметричный семантический поиск. Исследование направлено на выявление существующих ограничений и проблем в данной области, а также рассмотрение перспективных техник построения семантического векторного пространства и методов оценки семантической близости фрагментов текста. В отличие от традиционных подходов, в данной работе акцент сделан на рассмотрение асимметричных поисковых моделей, рассматриваются особенности работы с специализированными корпусами текстов, что позволяет глубже понять влияние названных факторов на релевантность извлекаемых данных и заложить основу для дальнейших исследований, направленных на улучшение качества взаимодействия между пользователем и интеллектуальной системой поиска.

Семантический поиск предполагает определение релевантности информации поисковому запросу на основе семантической близости, т.е. сходства контекстуального значения и общего смысла запроса с сопоставляемой единицей информации, а не на основе количества вхождений ключевых слов и лексических соответствий запроса и документа [4]. Семантические поисковые системы позволяют решать значительно более широкий спектр задач, предоставлять эргономичный интерфейс взаимодействия с пользователем, исключать нерелевантные результаты из поисковой выборки, эффективно работать с синонимами, сокращениями, орфографическими ошибками, обобщениями и т.д. [1].

Для реализации систем семантического поиска может использоваться комбинация целого ряда походов, включающая в себя приемы, основанные на лексическом сходстве, оценке частотности

упоминания ключевых терминов, тезаурусах (идеографических словарях), онтологиях (графах знаний). Значительный прогресс в данной области был достигнут в свете применения достижений методов глубокого обучения для обработки естественного языка. Так, использование моделей глубокого обучения для формирования векторного представления слов и предложений, задействование рекуррентных нейронных сетей и трансформеров позволило значительно продвинуться при решении классических задач обработки естественного языка, таких как классификация, установление кореферентности и восполнение отсутствующей информации. Все это позволяет говорить и качественных успехов применения методов глубокого обучения для выявления семантики обрабатываемых текстовых данных, что, несомненно, нашло широкое применение при решении задач семантического поиска [5].

Именно векторное представление текстовых данных в пространстве, сформированном в результате обучения моделей глубокого обучения, является представлением семантической информации содержащейся в тексте [6]. Так, слова, появляющиеся в схожем контексте в корпусе текстов, на котором происходило обучение модели, будут представлены векторами, находящимися на меньшем удалении друг от друга в рассматриваемом векторном пространстве.

Вместе с этим, существуют различные способы формирования векторных пространств семантических представлений, которые показывают неодинаковую эффективность при решении задач семантического поиска. В первую очередь, на способность выделения семантического сходства слов или частей текста влияет задача, в рамках которой происходило обучение модели глубокого обучения [7]. Так, модель, предназначенная для задач классификации текста, будет успешно определять семантическую близость между словами, которые позволяют отнести текст к конкретному классу. Например, модель, обученная соотносить диагноз (класс) со списком симптомов расположит вектора, представляющие симптомы чаще встречающиеся для одних и тех же классов, на меньшем удалении друг от друга [8]. В тоже время, если задачей модели будет восполнение недостающей информации – предсказание случайным образом пропущенных слов из описания симптомов, то она может в меньшей степени учитывать сходство симптомов между собой, и будет стремиться к восстановлению пропущенных данных, опираясь на вероятностные связи между словами.

Другим важным аспектом формирования векторных представлений является архитектура модели. Например, трансформернные модели, такие как BERT или SBERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers, Sentence-BERT), используют механизм самообращенного внимания, позволяющий учитывать контекст всей последовательности слов [9]. Это делает их эффективными в задачах анализа значений слов в зависимости от окружающих элементов текста и позволяет улучшить способность модели к обобщению в ходе обучения [10]. Однако модели на основе рекуррентных нейронных сетей (Recurrent Neural Network, RNN) или долгосрочной краткосрочной памяти (Long-Short Term Memory, LSTM) могут иметь преимущества при обработке последовательных данных, где важен порядок слов.

Также значительное влияние на качество семантических представлений оказывает объем и качество обучающего корпуса. Чем разнообразнее и насыщеннее данные, тем более точными и релевантными становятся векторные пространства, созданные моделью. В последнее время активно развиваются методы дообучения (fine-tuning) [11], которые позволяют адаптировать предварительно обученные модели, уже имеющие высокую обобщающую способность, к конкретным задачам, улучшая их способность выявлять семантические связи исходя из контекста, заданного конкретным корпусом текстов, что особенно актуально для задач семантического поиска на ограниченном объеме текстовых данных, относящихся к узкой области профессиональной деятельности (например, базы знаний, основанные на медицинских данных, корпусе юридических текстов, финансовых документов и т.п.).

Таким образом, выбор модели и способа обучения играет ключевую роль в эффективности семантического поиска, определяя, насколько точно алгоритм сможет различать значения и контексты слов. Кроме того, необходимо учитывать масштаб и специфику обучающего корпуса. Более разнородные данные из разных предметных областей, позволяют формировать универсальные семантические представления. В то же время модели, обученные на узкоспециализированных данных, могут демонстрировать высокую эффективность в контексте конкретных доменов, например, медицинских или юридических текстов. В свою очередь, тонкая настройка и дообучение на дополнительных данных или применение методов усиленного обучения (Reinforcement Learning) помогает корректировать векторные пространства семантических представлений, делая их более точными и релевантными.

При выборе способа кодирования текстовых данных в векторные представления перед исследователями возникают вопросы выбора размерности вектора и определения базовой единицы кодирования – слово, предложение, некоторая произвольно выбранная смысловая единица или даже документ целиком. Выбор размерности вектора и базовой единицы кодирования играет решающую роль в эффективности представления текстовых данных. От этого зависит, насколько точно модель сможет улавливать смысловые связи и проводить поиск схожих текстов.

Если в качестве базовой единицы кодирования выбрать слово, это позволит учитывать лексическое значение каждого элемента текста, но может ограничивать возможность анализа более

сложных смысловых конструкций. Также, такой подход не позволяет справиться с проблемами наличия в языке многозначных и синонимичных слов, которые могут встречаться как в корпусе текстов, так и в поисковом запросе. Данная проблема особенно актуальна при работе с текстами узкой направленности, где, как правило, используется весьма ограниченный словарь, а сами слова встречаются в составе множества различных по значению составных терминов.

Кроме того, кодирование каждой лексической единицы текста отдельным вектором требует значительных затрат на носители информации, так как многомерные вектора содержат в себе на порядки больше информации, чем исходная лексическая единица. Данную проблему можно обойти, учитывая наличие взаимно однозначного соответствия между единицей сформированного словаря и ее векторным представлением, однако, необходимость многократного кодирования текста в векторные представления при каждой операции поиска делает такой подход требовательным к вычислительным ресурсам и в данной связи малоприменимым для решения задач семантического поиска.

Использование предложения в качестве единицы кодирования дает преимущество в обработке смысловых конструкций, позволяя учитывать контекст на более высоком уровне. При кодировании на уровне смысловых единиц, таких как фразы или тематические блоки, можно достичь еще большей гибкости в обработке текста, но этот метод требует дополнительной разметки данных и более сложных алгоритмов кластеризации.

Помимо этого, при выборе в качестве единицы кодирования достаточно больших блоков исходного документа возможна проблема «усреднения» семантического представления фрагмента текста. Так, наложение друг на друга векторов большого количества семантических единиц посредством вычисления среднего значения или пулинга будет способствовать потере семантических особенностей единицы кодирования, что может снизить релевантность поисковой выборки [12].

Наконец, кодирование целого документа в единое векторное представление актуально для задач, связанных с категоризацией и классификацией текстов, но еще больше способно нивелировать нюансы семантического представления информации, теряя на этапе объединения множества векторов их специфические особенности. Такие модели применяются, например, в рекомендательных системах и анализе больших объемов текстовой информации но ввиду названных особенностей могут хуже справляться с задачами семантического поиска по поисковым запросам пользователей [13].

Особенно остро эта проблема проявляется при решении задач ассиметричного семантического поиска – когда поисковый запрос и единица поиска (документ) несопоставимы между собой по объему информации и/или диапазону используемой лексики. Примером такого сценария может служить система семантического поиска юридических документов для пользователей, не имеющих соответствующей экспертизы. В данном случае очевидны несоответствие объема пользовательского запроса и искомого документа, а также высокая вероятность использования в запросе некорректных терминов или разговорных выражений, которые необходимо поставить в соответствие строгим формулировкам юридических текстов из базы знаний.

Оптимальный выбор единицы кодирования зависит от конкретных задач, стоящих перед поисковой системой, и может определяться структурой текстов базы знаний, особенностями их разметки, общим объемом корпуса текстов.

Еще одним фактором, оказывающим влияние на эффективность поиска, может являться способ определения семантической близости между векторными представлениями семантической информации в сформированном векторном пространстве. Так, среди наиболее распространенных подходов можно выделить метрики, основанные на сходстве и различии векторов, а также дистанции между ними в многомерном пространстве [14].

Так, коэффициент косинусового подобия векторов, позволяет установить сходство между ними, выраженное скаляром в диапазоне от -1 до 1, основываясь на угле между векторами в многомерном пространстве. При этом, на значение полученного коэффициента не оказывает влияния абсолютное значение векторов. В случае же выражения сходства через скалярное произведение, для случая ненормализованных векторов, на результат будут оказывать влияния не только угол, но и абсолютное значение векторных представлений рассматриваемых семантических единиц. Еще более чувствительным к абсолютным значениям будут результаты вычислений, основанных на евклидовом расстоянии между векторами.

Выбор метрики выражения сходства векторных представлений во многом зависит от итогового сформированного векторного пространства и того, какую в нем роль играет угол и абсолютное значение векторов для их семантической близости, задач, стоящих перед поисковой системой (мультимодальный поиск, ассиметричный текстовый поиск, рекомендательная система поиска схожих документов и т.д.).

Таким образом, семантический поиск, основанный на многомерном векторном представлении текстовых данных и методах глубокого обучения, открывает широкие возможности для эффективной обработки и анализа текстовой информации. Однако, для достижения высокого качества поиска необходимо учитывать ряд факторов, включая выбор модели, способа обучения, единицы кодирования и метрики семантической близости. Особое внимание следует уделять асимметричному семантическому

поиску, где различия между запросом и документами требуют применения специализированных подходов.

В рамках дальнейших исследований в данной области планируется осуществить адаптацию более эффективных методов обучения моделей к задачам семантического поиска, изучить проблемы применения методов поиска к различным предметным областям и узкоспециализированным корпусам текстов, исследовать и формализовать критерии выбора основных подходов к формированию семантического векторного пространства, выбору размерности векторов и используемых метрик. Решение этих задач позволит создать интеллектуальные системы поиска, способные эффективно выделять семантику текста и предоставлять наиболее релевантные результаты поиска в различных сценариях, в том числе в рамках ассиметричного поиска и работы с узкоспециализированными корпусами текстов.

Список использованных источников:

1. Pre-training Tasks for Embedding-based Large-scale Retrieval / W.-C. Chang [et al.] // 8th International Conference on Learning Representations, ICLR 2020 / ed. by A. Rush [et al.]. – Addis Ababa, Ethiopia : OpenReview.net, 2020. – P. 12.

2. Bantsevich, K. Integration of Large Language Models with Knowledge Bases of Intelligent Systems / K. Bantsevich [et al.] // Open semantic technologies for intelligent systems (OSTIS) : сборник научных трудов / BSUIR. – Minsk, 2023. – Vol. 7 – P. 213–218.

3. Embeddings for Efficient Literature Screening: A Primer for Life Science Investigators / C. Galli, C. Cusano, S. Guizzardi [et al.] // Metrics. – 2024. – Vol. 1, № 1. – P. 1.

4. Kasenchak, R. T. What is Semantic Search? And why is it important? / R. T. Kasenchak // Information Services and Use, 2019. – Vol. 39, № 3. – P. 205–213.

5. Yurchuk, I. Extending Monolingual Asymmetric Semantic Search Models For Multilingual Query Processing Using Knowledge Distillation / I. Yurchuk, D. Boiko // Proceedings of the Information Technology and Implementation (IT&I) Workshop: Intelligent Systems and Security (IT&I-WS 2024: ISS) / ed. by V. Snytyuk [et al.]. – Kyiv, Ukraine : CEUR Workshop Proceedings, 2024. – P. 1–10.

6. Wang, L. Improving Text Embeddings with Large Language Models / L. Wang [et al.] // ACL 2024 : Proceedings of the 62nd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers) / ed. by L.-W. Ku, A. Martins, V. Srikumar. – Bangkok, Thailand : Association for Computational Linguistics, 2024. – P. 11897–11916.

7. Mahmoud, A. F. A. Enhancing Semantic Search Precision through the CBOW Algorithm in the Semantic Web / A. F. A. Mahmoud [et al.] // Engineering, Technology & Applied Science Research, 2025. – Vol. 15, № 1. – P. 19522–19527.

8. Zubiaga, A. Exploiting Class Labels to Boost Performance on Embedding-based Text Classification / A. Zubiaga // CIKM '20: Proceedings of the 29th ACM International Conference on Information & Knowledge Management / ed. by M. d'Aquin [et al.] event-place: Virtual Event, Ireland. – New York, NY, USA : Association for Computing Machinery, 2020. – P. 3357–3360.

9. Walsh, H. S. Semantic Search With Sentence-BERT for Design Information Retrieval / H. S. Walsh, S. R. Andrade // ASME 2022 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference : International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference (Volume 2: 42nd Computers and Information in Engineering Conference (CIE)). – American Society of Mechanical Engineers Digital Collection, 2022. – P. 9.

10. Fujishiro, N. Accuracy of the Sentence-BERT Semantic Search System for a Japanese Database of Closed Medical Malpractice Claims / N. Fujishiro, Y. Otaki, S. Kawachi // Applied Sciences, 2023. – Vol. 13, № 6. – P. 4051.

11. Kroshchanka, A. Kroshchanka, A. Reduction of neural network models in intelligent computer systems of a new generation / A. Kroshchanka // Otkrytye semanticheskie tehnologii proektirovanija intellektual'nyh sistem [Open semantic technologies for intelligent systems], 2023. – Vol. 7 – P. 127–132.

12. Ai, Q. Analysis of the Paragraph Vector Model for Information Retrieval / Q. Ai, L. Yang, J. Guo, W. B. Croft // Proceedings of the 2016 ACM International Conference on the Theory of Information Retrieval : ICTIR '16 / ed. by B. Carterette [et al.] event-place: Newark, Delaware, USA. – New York, NY, USA : Association for Computing Machinery, 2016. – P. 133–142.

13. Riyadh, M. LLM-assisted Vector Similarity Search / M. Riyadh [et al.] arXiv:2412.18819 [cs]. – arXiv, 2024.

14. Pan, J. J. Survey of vector database management systems / J. J. Pan, J. Wang, G. Li // The VLDB Journal, 2024. – Vol. 33, № 5. – P. 1591–1615.

UDC 004.82

ACTUAL PROBLEMS OF ASYMMETRIC SEMANTIC SEARCH BASED ON MULTIDIMENSIONAL VECTOR REPRESENTATIONS OF TEXT DATA

Rabinkin H.M.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Hetsevich Y.S. – PhD in Technical Sciences

Annotation. The article considers problems and approaches to semantic search based on deep learning methods and vector representation of text data. Particular attention is paid to asymmetric semantic search, when the query and documents differ in volume and vocabulary. The methods of forming vector spaces, the choice of encoding units (words, sentences, documents) and semantic similarity metrics are analyzed. The problems arising in the choice of a model and training method, as well as the influence of the training corpus on the quality of search results are considered.

Keywords. Semantic search, vector search, natural language processing, deep learning, vector similarity, semantic similarity, text embeddings.

УДК 004.42

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ FASTAPI, DJANGO И FLASK: ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ, УДОБСТВО РАЗРАБОТКИ И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ФРЕЙМВОРКА ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ

Худницкий А.В., Шауро Е.А., студенты гр. 353502

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Жвакина А.В. – канд. техн. наук, доцент

Аннотация. В статье представлен сравнительный анализ трёх популярных Python-фреймворков — FastAPI, Django и Flask — с акцентом на их производительность, удобство разработки и применимость в современных веб-проектах. Рассматриваются ключевые особенности: асинхронная обработка запросов в FastAPI, «полнота» и структурированность Django, а также минимализм и гибкость Flask. На основе оценки сильных и слабых сторон каждого инструмента даются рекомендации по выбору оптимального решения для разных сценариев использования.

Ключевые слова. FastAPI, Django, Flask, Сравнительный анализ, Производительность, Удобство разработки, Асинхронная обработка, Минимализм, Веб-приложения, Высоконагруженные API, Бизнес-логика, Оптимизация выбора, Современные технологии.

Язык программирования Python широко используется в современных технологиях во множестве отраслей начиная с web-разработки и заканчивая машинным обучением. Для упрощения создания сайтов и приложений со сложной структурой и поддержкой баз данных в 2005 году компанией Lawrence Journal-World был создан full-stack фреймворк Django [1]. Уже на своих ранних версиях фреймворк поддерживал ORM, предлагал автоматически генерируемую административную страницу, маршрутизацию посредством URL, что помогало программистам сфокусироваться на логике разработки веб-приложения без необходимости контролировать низкоуровневые детали, такие как обработка HTTP-запросов, управление сессиями или взаимодействие с базой данных напрямую. За 20 лет развития вышло пять поколений фреймворка, новый релиз выходит в среднем каждые 8 месяцев. Проект развивается как open-source, его код можно найти на github.com/django/django. Сегодня Django остается самым популярным фреймворком для web-разработки на Python с самой большой клиентской базой.

Через пять лет после релиза Django австрийским программистом Арминой Ронахером был разработан микрофреймворк Flask – своего рода конструктор, содержащий только базовые возможности для создания проектов. В ходе разработки на Flask программист сам определяет технологии, которые ему необходимы, начиная с типа базы данных и заканчивая паттернами проектирования, то есть фреймворк придерживается простого, но расширяемого ядра. Минимализм и возможность расширения привлекла множество программистов по всему миру. Теперь Flask обладает крупным комьюнити пользователей, которые создают расширения и библиотеки для фреймворка на протяжении уже 15 лет. Слоганом Flask считается фраза “меньше – значит больше”.

Самым молодым, но от этого не менее популярным фреймворком для разработки на Python является асинхронный FastAPI, разработанный Себастьяном Рамиресом. Проект, подобно Django, развивается в формате open-source и доступен по адресу github.com/tiangolo/fastapi. Название для фреймворка подобрано не случайно: во-первых, благодаря библиотекам Starlette и Pydantic, которые отвечают за работу с web и для описания схем данных соответственно, достигается максимальная производительность и высокая скорость обработки запросов; во-вторых, FastAPI интуитивно понятен, что значительно влияет на количество ошибок и время, затраченное на разработку. Фреймворк обладает стремительно развивающимся сообществом, стандарты OpenAPI и асинхронности поддерживаются современными библиотеками и инструментами.

Приведенные выше фреймворки можно сравнить по следующим критериям: производительность, гибкость, количество модулей, размер сообщества, сложность изучения, вакансии.

Производительность.

При данной оценке важно понимать, что само по себе слово “производительность” не содержит в себе ни одной метрики. Иногда улучшения в одной области ведут к ухудшениям в другой, поэтому требуется четко понимать, что исследуется. Производительность любого приложения напрямую зависит от аппаратных ресурсов, например, от процессора, оперативной памяти, скорости интернет-соединения и передачи данных с твердых носителей. Однако, рассматривать будем только те характеристики, которые разнятся от фреймворка к фреймворку, если взять как факт одинаковое аппаратное обеспечение.

Фреймворк Django легко масштабируемый и способен обрабатывать в секунду большое количество запросов. Среди способов оптимизации кода, предлагаемых Django, можно выделить следующие: кэширование, оптимизация запросов к базе данных и ее масштабирование. Однако это тяжеловесный фреймворк, который опирается на множество компонентов и зависимостей, потому его часто относят к категории производительности от средней до высокой. В рабочих проектах совместно с Django используют Celery для фоновых задач.

Рассмотрим производительность Flask. Фреймворк не навязывает никакой структуры или дополнительных технологий разработчику, что и делает его быстрым для небольших приложений и API. По умолчанию он использует Werkzeug (комплексная библиотека веб-приложений WSGI) и Jinja2 (библиотека-стандарт для рендеринга шаблонов), которые эффективны, но в однопоточном режиме могут не справляться с высокой нагрузкой, поскольку обе библиотеки работают синхронно. Если приложение выполняет много I/O-операций (запросы к базе данных, API), это может стать “бутылочным горлышком”.

Компания TechEmpower в феврале 2025 года проводила независимые тесты производительности приложений [2], результат которых показал, что FastAPI по своим производительным характеристикам уступает лишь Starlette, потому как использует его внутри себя. Асинхронный протокол ASGI внутри Starlette позволяет обрабатывать множество запросов одновременно без блокировки ввода-вывода. К тому же, FastAPI не добавляет лишних слоев поверх Starlette и Uvicorn, что минимизирует задержки. Результаты тестирования приведены на рисунке 1.

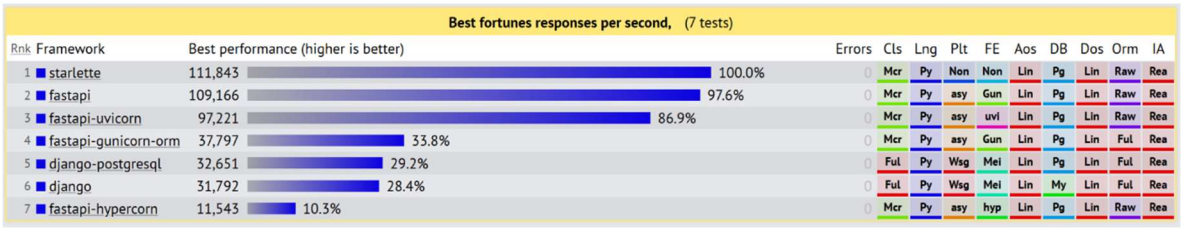


Рисунок 1 – Результаты тестирования производительности приложений

Таким образом, по результатам исследования наиболее высокой производительностью обладает FastAPI ввиду своей асинхронности и разбиения задач без блокирования основного потока. Flask изначально не поддерживает асинхронные операции, однако из-за простоты своей кастомизации демонстрирует стабильную и быструю работу. Фреймворк Django использует протокол WSGI, однако в рабочих проектах часть его задач выполняет Celery и т.п.

Гибкость.

Django – это высокоуровневый веб-фреймворк, который сочетает в себе готовые решения и гибкость для адаптации под различные задачи. Он предоставляет множество встроенных инструментов, но при этом позволяет глубоко кастомизировать почти каждый аспект программы.

Django построен на концепции “приложений” – переиспользуемых компонентов, которые можно комбинировать и настраивать, что свидетельствует о том, что можно написать свои модули либо собрать проект из уже готовых. Одним из самых значительных преимуществ данного фреймворка является встроенная кастомизируемая административная панель. Django работает с любым фронтендом через API и предлагает тысячи библиотек, к примеру, Django Rest Framework.

Однако Django формально реализует паттерн MTV (Model-Template-View), который является адаптацией классического MVC (Model-View-Controller). Попытки реализовать чистый MVC, MVP или MVVM требуют обходных путей. Например, для MVVM с фронтендом на React/Vue придется полностью отказаться от Django Templates и строить взаимодействие через API, что не всегда удобно.

Flask представляет собой микрофреймворк и оставляет программисту максимальную гибкость в выборе дополнительных компонентов. Flask не навязывает жесткую структуру проекта, что позволяет адаптировать его под любые нужды, использовать любые сторонние библиотеки и архитектуру приложения.

Подобно Flask FastAPI также не имеет какой-либо утвержденной архитектуры. FastAPI поддерживает интеграцию с любыми WSGI-приложениями, такими как Dash, Flask, Django, позволяя монтировать их внутри FastAPI. Фреймворк запросто работает с пользовательскими библиотеками, поддерживает JWT-аутентификацию.

Количество модулей.

Django имеет огромное количество пакетов - более 5000 пакетов на PyPI [3]. Популярные сторонние пакеты: Django REST Framework (API), Django Debug Toolbar (отладка), а модули: ORM, Админ-панель, аутентификация. Качество самих пакетов находится на высоком уровне.

Flask имеет около 1800 пакетов на PyPI, однако многие из них устарели или плохо поддерживаются. Популярными расширениями являются: Flask-SQLAlchemy (интеграция с ORM), Flask-Login (аутентификация), Flask-CORS (CORS-заголовки).

FastAPI имеет всего 500 пакетов на PyPI, многие из которых находятся в стадии активной разработки. Главной особенностью является то, что многие модули - адаптации из Starlette и Pydantic. Встроенные модули: валидация данных (Pydantic), асинхронная обработка данных, автодокументация (Swagger, OpenAPI), Dependency Injection.

Размер сообщества.

Django является самый старым фреймворков, поэтому имеет самое крупное сообщество среди 3 фреймворков: много учебников, книг, конференций (DjangoCon). Поддержка версий составляет 3 года, а развитая экосистема (готовые решения для любых задач: аутентификация, админка, ORM) позволяет создавать меньше “велосипедов” – большинство проблем уже решено.

Flask имеет много туториалов для новичков, хотя их количество меньше, чем у Django. Сообщество фреймворка ценит минимализм и кастомизацию.

FastAPI является самым молодым фреймворком среди троих, однако его сообщество очень активное. Сама документация имеет хорошие переводы на 10+ языков. Главная особенность - фокус на modern tech: async/await, OpenAPI, Pydantic - что привлекает молодых разработчиков. Готовых решений достаточно мало, но многие библиотеки Django/Flask адаптируются под FastAPI. Он является самым быстрорастущим фреймворком по данным Jetbrains Developer Survey.

Сложность изучения.

Django предоставляет все “из коробки”: (ORM, админ-панель, аутентификацию). Однако для их использования необходимо понимание архитектуры фреймворка. Тем не менее, Django обладает хорошей документацией и больших количеством туториалов. Он нацелен на разработчиков, которые готовы потратить достаточно времени на его изучение.

В отличие от Django, Flask дает лишь базовые инструменты, т.е. ORM, аутентификацию добавляет сам разработчик. К строгой структуре он не обязывает, что может быть проблемой при нехватке опыта или бонусом для большего контроля над каждым слоем приложения. Flask очень хорош для понимания основ HTTP, REST, работы с запросами, ответами.

FastAPI требует понимания async/await в Python, а также работы с моделями через Pydantic, что требует привычки к аннотациям типов. Стоит отметить автоматическую документацию (Swagger/OpenAPI), что упрощает тестирование и понимание работы API. Для обучения имеется отличная лаконичная документация.

Вакансии.

Для получения информации были изучены данные из следующих источников: rabota.by, belmeta.com, habr.com/vacancies (таблица 1).

Таблица 1 - Количество вакансий для Django, FastAPI, Flask

	rabota.by	belmeta.com	habr.com/vacancies
Django	31	22	13
FastAPI	31	16	10
Flask	17	10	2

В веб-экосистеме Python большая часть вакансий приходится именно на Django. Далее немного отстает FastAPI. Стоит добавить, что количество вакансий на данный фреймворк растет с каждым годом. Flask постепенно уступает позиции в индустрии – сегодня спрос на разработчиков со знанием Flask ниже по сравнению с более современными фреймворками.

После детального изучения трех Python-фреймворков можно сделать вывод, что выбор между ними должен основываться на конкретных требованиях проекта. Django идеально подходит для крупных проектов с четкой структурой, а благодаря “батарейкам” он сможет сэкономить десятки часов разработки. Flask, наоборот, предлагает программисту максимальную свободу. Вместе с тем это требует от разработчика большой ответственности: часть функционала, которая у Django идет “из коробки” требует самостоятельной реализации в Flask. FastAPI, являясь в некотором смысле компромиссом между Django и Flask, сочетает в себе высокую производительность асинхронного кода с удобством разработки. Автоматическая документация и встроенная валидация данных делают FastAPI отличным выбором для микросервисной архитектуры. В конечном итоге, нет “лучшего” фреймворка – есть наиболее подходящий для конкретной задачи. Также важно помнить, что эффективность технологий зависит от того, насколько правильно они применены.

Список использованных источников:

1. History of Django Framework [Электронный ресурс] : Zavod-IT. – Режим доступа: https://zavod-it.ru/blog/useful/history-of-django-framework. – Дата доступа: 09.04.2025.

2. Web Framework Benchmarks [Electronic resource] : TechEmpower. – Mode of access: https://www.techempower.com/benchmarks/#section=data-r23. – Date of access: 10.04.2025.

3. PyPI - хранилище программного опеспечения для языка программирования Python [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://pypi.org. – Дата доступа: 10.04.2025.

UDC 004.42

COMPARATIVE ANALYSIS OF FASTAPI, DJANGO, AND FLASK: PERFORMANCE, DEVELOPMENT CONVENIENCE, AND CHOOSING THE OPTIMAL FRAMEWORK FOR MODERN WEB APPLICATIONS

Khudnitskii A.V., student of group 353502, Shauro E.A., student of group 353502

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Zhvakina A.V. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Annotation. The article presents a comparative analysis of three popular Python frameworks - FastAPI, Django, and Flask - focusing on their performance, development convenience, and applicability in modern web projects. Key features are examined: asynchronous request processing in FastAPI, the "batteries-included" approach and structured architecture of Django, as well as the minimalism and flexibility of Flask. Based on an evaluation of each framework's strengths and weaknesses, recommendations are provided for selecting optimal solutions for different use cases.

Keywords. FastAPI, Django, Flask, Comparative analysis, Performance, Development convenience, Asynchronous processing, Minimalism, Web applications, High-load APIs, Business logic, Optimization of choice, Modern technologies.

УДК 004.8

НЕЙРОСЕТЕВОЙ АНАЛИЗ УРОВНЯ СТРЕССА ПО ТЕКСТОВЫМ ДАННЫМ

Кашко А.А., студент гр.353502

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Жвакина А.В. – канд. техн. наук, доцент

Аннотация. Работа представляет собой исследование и практическое применение современных технологий, которые помогают анализировать текстовые данные. Основное внимание уделено реализации примитивной модели на языке программирования Python с использованием библиотеки PyTorch и её обучению. Данный подход позволяет выявлять уровень стрессового состояния человека на основе лингвистических характеристик текста.

Ключевые слова. Нейросетевой анализ, уровень стресса, текстовые данные, PyTorch, бинарная классификация, лингвистические характеристики.

В условиях цифровой трансформации и роста онлайн-коммуникаций анализ психоэмоционального состояния человека становится все более востребованным. Одним из наиболее распространённых и негативно влияющих факторов является стресс, который может проявляться как на физиологическом, так и на поведенческом уровне, в том числе в речевой и письменной коммуникации. Особенно актуальной эта тема стала после пандемии COVID-19, которая привела к росту психоэмоциональных расстройств, включая тревожность и депрессию. По данным Всемирной организации здравоохранения, за последние пять лет уровень стресса среди населения вырос на 30%, а около 264 миллионов человек во всем мире страдают от депрессивных расстройств [1]. В таких условиях технологии, способные автоматически выявлять признаки стресса по тексту, могут стать важным инструментом для психологов, HR-специалистов и разработчиков сервисов ментального здоровья. В современном обществе всё больше людей выражают свои переживания и эмоции через текстовые сообщения, в том числе в форме постов и комментариев в социальных сетях. Это открывает возможности для анализа эмоционального состояния человека на основе его цифровой активности и может способствовать оказанию своевременной поддержки тем, кто в ней нуждается.

В связи с этим возрастают потребности в автоматизированных системах, способных определять признаки стрессового состояния по анализу текстовой информации. Такой подход может быть востребован в различных сферах – от систем психологической поддержки до мониторинга пользовательских сообщений в социальных сетях.

Целью данной работы является разработка и обучение примитивной нейросетевой модели, реализованной на языке программирования Python с использованием PyTorch, способной определять уровень стрессового состояния человека на основе анализа текстовых данных. Работа направлена на исследование возможностей применения простых архитектур в задаче распознавания эмоционального состояния и закладывает основу для дальнейшего усовершенствования подобных систем.

При выборе инструментария для реализации модели основное внимание уделялось удобству разработки, гибкости архитектуры и поддержке современных методов обучения нейросетей. PyTorch – это фреймворк машинного обучения с открытым исходным кодом, разработанный компанией Facebook. Он поддерживает создание сложных моделей нейронных сетей и их обучение с использованием GPU, что значительно ускоряет процесс вычислений. PyTorch выгодно отличается от конкурентов такими особенностями, как динамическое вычислительное графическое представление и простота интеграции с другими Python-библиотеками. Основные компоненты фреймворка: tensor – основной элемент для хранения данных, сходен с многомерными массивами в NumPy, но позволяет выполнять операции на GPU, module – базовый класс от которого наследуются все модели нейронных сетей, optimizer – инструмент для обновления параметров модели на основе градиентов (числовые значения, которые показывают в каком направлении и насколько сильно нужно изменить параметры модели) [2].

В рамках данной работы была реализована простая нейросетевая модель на языке программирования Python с использованием библиотеки PyTorch. Был подготовлен небольшой датасет, включающий примеры как стрессовых, так и нейтральных текстов, каждому из которых была присвоена соответствующая метка. Общий объём датасета составил около 200 текстов, поровну распределённых между двумя классами: стресс, нейтрально.

На этапе предварительной обработки данные подверглись базовой очистке: тексты были приведены к нижнему регистру, удалены знаки препинания, произведена токенизация. Далее, на основе частотного анализа, был сформирован словарь, каждой уникальной лексеме в котором соответствовал свой числовой идентификатор. Затем тексты были закодированы в виде последовательностей

фиксированной длины, пригодных для подачи в нейросетевую модель. Максимальная длина последовательности была выбрана равной 50 токенам.

Модель представляет собой однослойную нейросеть, которая использует в качестве входных данных текстовые последовательности, закодированные в числовые индексы. На первом этапе обработки входных данных используется слой эмбеддинга (nn.Embedding), который отображает каждый индекс в вектор фиксированной длины (в данной реализации – 16). Это позволяет преобразовать текстовые данные в более подходящий для нейросети формат. Затем применяется операция усреднения (mean pooling) по эмбеддинговым векторам, что приводит к одному вектору фиксированной длины, представляющему весь текст. Далее следует полносвязный слой (nn.Linear), на котором применяется функция активации (ReLU), помогающая моделировать нелинейные зависимости. Выходной слой модели – также полносвязный, с одним выходом, к которому применяется функция активации сигмоиды (nn.Sigmoid). Он преобразует результат в вероятность того, что текст связан с состоянием стресса.

Для классификации используется пороговое значение 0,5: если вероятность больше или равна порогу, то текст классифицируется как стрессовый, иначе – как нейтральный.

Обучение модели производилось на обучающей части выборки (80% данных, оставшиеся 20% – тестовая выборка) с использованием оптимизатора Adam и функции потерь nn.BCELoss, подходящей для бинарной классификации. Обучение проводилось в течение 10 эпох с размером батча 16 и learning rate 0.001. В ходе каждой эпохи производились проходы по всем обучающим данным с последующим обновлением весов модели. По завершении каждой эпохи отслеживались метрики качества на тестовой выборке.

Для оценки модели использовалась метрика accuracy – доля верно классифицированных текстов на тестовой выборке. Также дополнительно анализировались метрики precision, recall и F1-score, особенно важные при несбалансированных классах.

Модель была дополнена функцией (predict(text: str)), которая позволяет производить предсказания на новых текстах. Входной текст проходит те же этапы предобработки (очистка, токенизация, преобразование в индексы), после чего подаётся в модель. Результатом является вероятность, интерпретируемая как наличие или отсутствие признаков стресса.

Разработанная модель представляет собой базовый рабочий пример использования нейросетей для анализа эмоционального состояния человека на основе текстовых данных. Несмотря на простоту структуры модели и ограниченность датасета, она демонстрирует работоспособность и может быть использована в качестве отправной точки для более сложных решений.

Перед финальным этапом был проведён запуск разработанной нейросетевой модели (рисунок 1) на тестовом примере. На изображении ниже продемонстрирован результат работы функции predict(), в котором модель успешно определила эмоциональную окраску текста. Это подтверждает корректность всех этапов: от предварительной обработки данных до предсказания и финальной классификации. Полученная вероятность интерпретирована согласно установленному порогу, и модель уверенно отнесла текст к нужной категории, демонстрируя работоспособность и применимость решения на практике.

```
Epoch 6, Loss: 0.0531, Train Accuracy: 0.9866, Test Accuracy: 0.6562
Epoch 7, Loss: 0.0130, Train Accuracy: 1.0000, Test Accuracy: 0.6562
Epoch 8, Loss: 0.0135, Train Accuracy: 0.9933, Test Accuracy: 0.7031
Epoch 9, Loss: 0.0118, Train Accuracy: 0.9933, Test Accuracy: 0.6562
Epoch 10, Loss: 0.0188, Train Accuracy: 0.9933, Test Accuracy: 0.7031
Final Test Accuracy: 0.70
Текст: "Всё валится из рук. Просыпаюсь с ощущением, будто на мне лежит каменная плита
шники в кармане: только кажется, что нашла конец, а там — новый узел. День проходит в
ова."
Стресс: ДА (вероятность: 0.99)
Текст: "Все отлично, я спокоен и радуюсь жизни"
Стресс: НЕТ (вероятность: 0.00)
```

Рисунок 1 – Результат работы модели при предсказании эмоционального состояния текста

Для более детального анализа качества работы модели были построены различные графики, иллюстрирующие как процесс обучения, так и результативность классификации. Графики ошибок позволяют проследить динамику обучения на протяжении всех эпох, а гистограмма предсказанных

вероятностей и ROC-кривая дают представление о способности модели различать стрессовые и нейтральные тексты.

График точности на обучающем и тестовом наборах (рисунок 2) позволяет оценить, насколько эффективно модель классифицирует данные на протяжении всех эпох. По оси X отложены номера эпох, по оси Y – значения точности, отражающие долю верно классифицированных примеров. Рост точности на обучающей выборке указывает на успешное усвоение моделью закономерностей в данных, а рост тестовой точности – на способность модели обобщать информацию на новых примерах. Графики обучения и тестирования демонстрируют положительную динамику, постепенно растут и идут примерно параллельно, что свидетельствует о способности модели обобщать знания на новые данные.

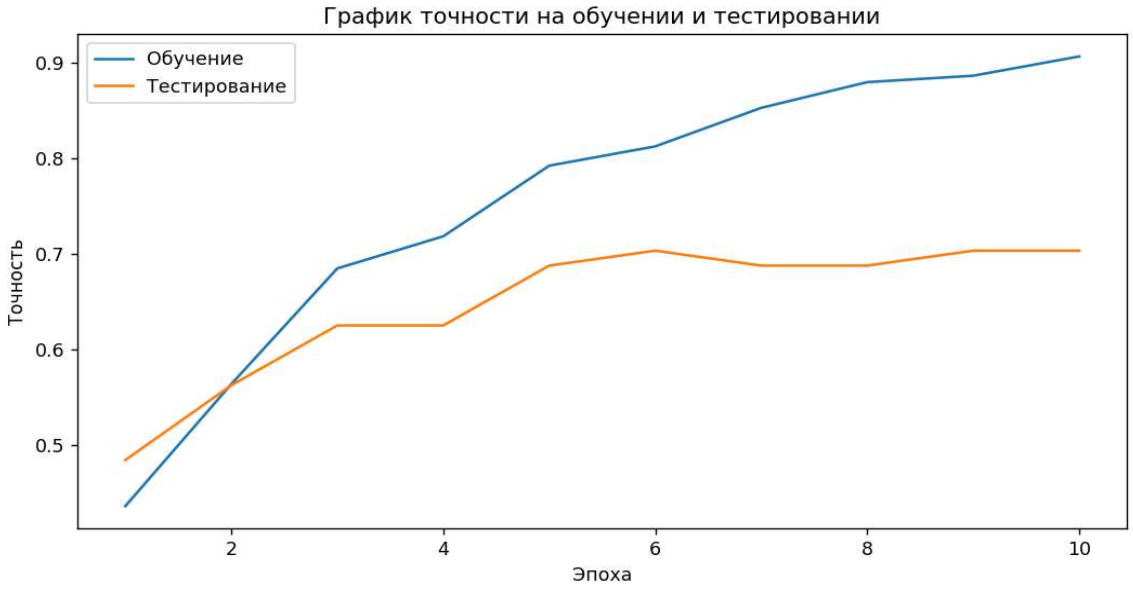


Рисунок 2 – График точности при обучении и тестировании

График потерь на обучении (рисунок 3) показывает, как изменяется средняя ошибка (потери) на обучающем наборе данных в процессе обучения. Потери измеряются с помощью функции BCELoss для бинарной классификации. Ось X отображает номера эпох, а ось Y – значения потерь. Чем ниже это значение, тем лучше нейросеть выполняет задачу классификации, минимизируя ошибку между предсказанным и фактическим значением. График потерь плавно снижается с каждой эпохой, это говорит о том, что модель обучается и её предсказания становятся более точными.

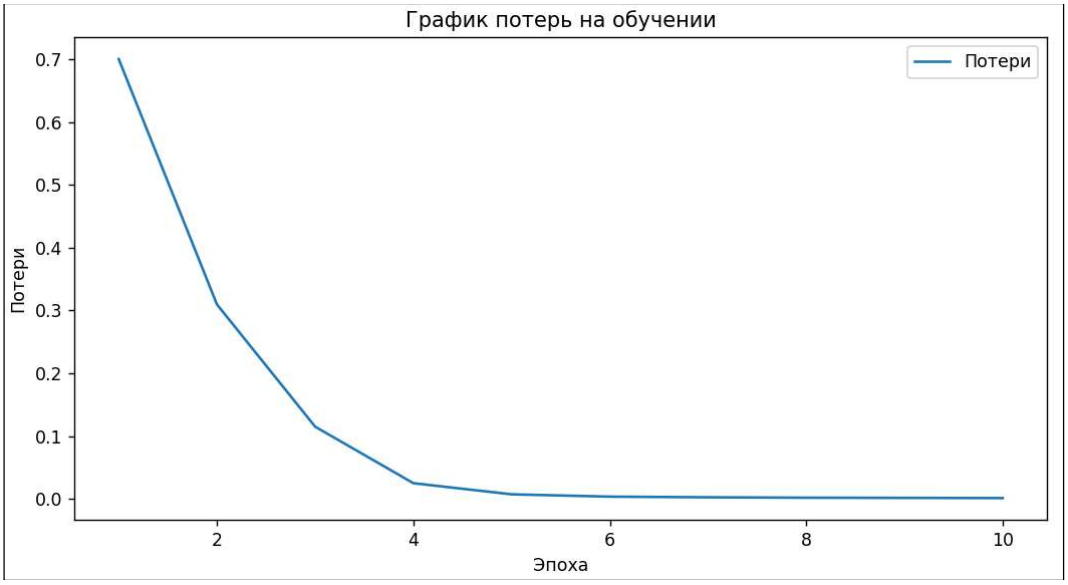


Рисунок 3 – График потерь при обучении

Гистограмма распределения предсказанных вероятностей (рисунок 4) отображает, как модель классифицирует данные на тестовом наборе. График имеет два пика: левый (около 0) – для класса "НЕТ"

(отсутствие стресса), правый (около 1) – для класса "ДА" (наличие стресса). Большая часть предсказаний сосредоточена вблизи крайних значений, что указывает на высокую уверенность модели. Небольшое количество примеров находится в центре диапазона (0.4–0.6), что может свидетельствовать о менее уверенных случаях. Распределение напоминает U-образную кривую, что типично для хорошо обученных бинарных классификаторов. Это говорит о том, что модель редко "колеблется" и чаще дает четкие предсказания.

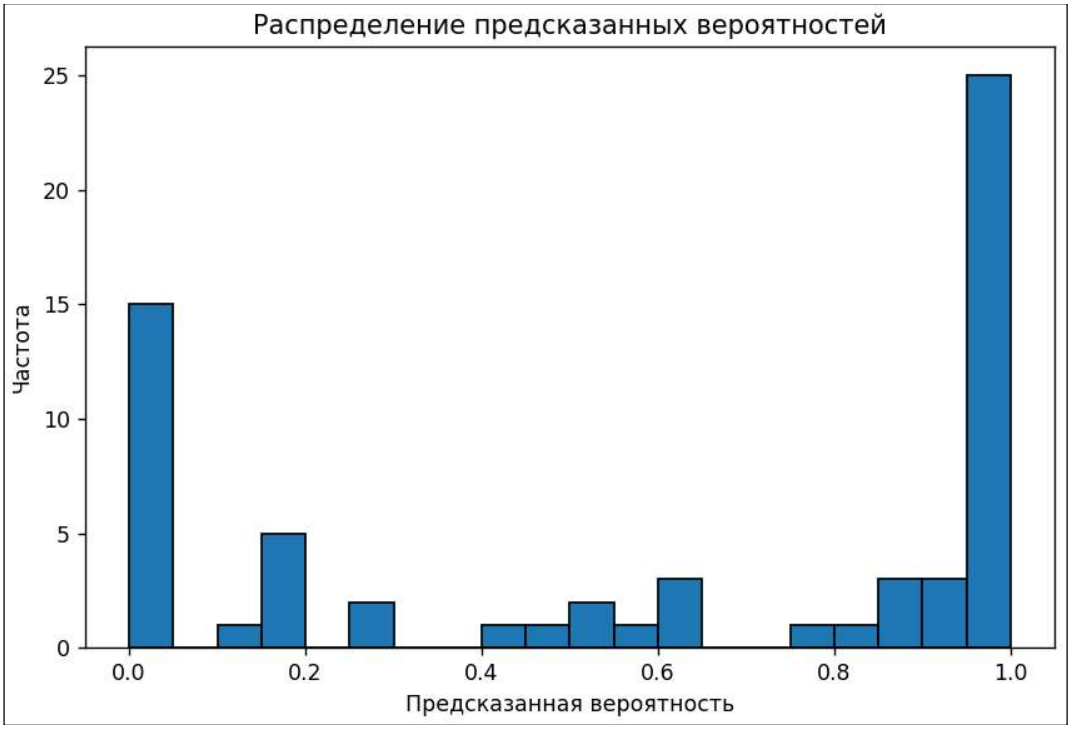


Рисунок 4 – Гистограмма распределения предсказанных вероятностей

ROC-кривая (рисунок 5) описывает взаимосвязь между чувствительностью модели (TPR, или true positives rate – доля истинно положительных примеров) и её специфичностью (описываемой в отношении долей ложноположительных результатов: 1-FPR). TPR, или чувствительность модели, является соотношением корректных классификаций положительного класса, разделённых на все положительные классы, доступные из набора данных. FPR – доля ложноположительных примеров, false positives rate. Это соотношение между ложными срабатываниями (количество прогнозов, ошибочно отнесённых в положительные), и всеми доступными отрицательными классами [3].

Ось X – доля ложных срабатываний (FPR), которые модель ошибочно классифицировала как положительные. Ось Y – доля истинных срабатываний (TPR): это доля положительных примеров, которые модель правильно классифицировала как положительные. ROC-кривая ближе к верхнему левому углу, это значит, что она правильно классифицирует больше положительных примеров при низкой доле ложных срабатываний. Площадь под ROC-кривой даёт количественную меру качества модели: чем она выше, тем лучше модель. AUC = 0.9 указывает на хорошее различие между положительными и отрицательными примерами.

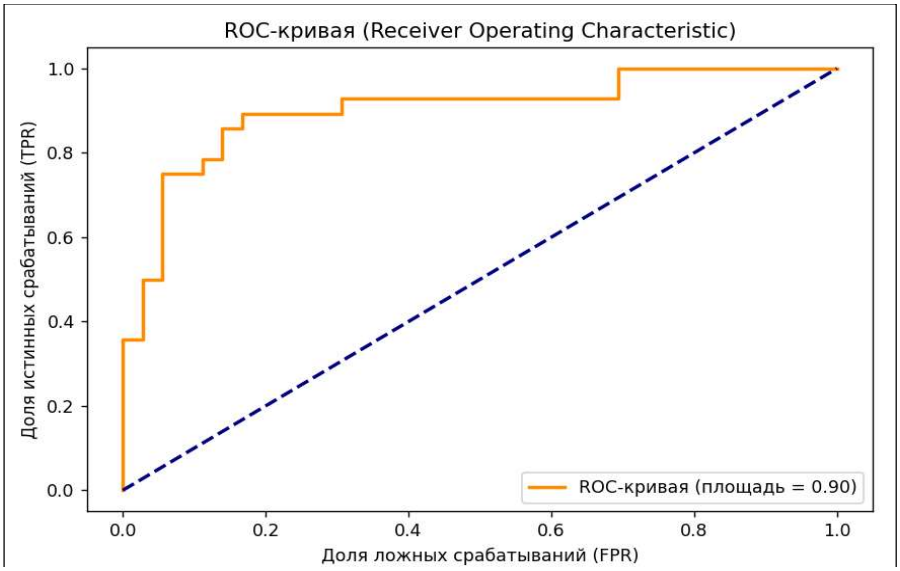


Рисунок 5 – ROC-Кривая

После построения графиков можно сказать, что модель демонстрирует хорошие результаты на задаче бинарной классификации.

Рассматривая направления для развития представленного подхода, следует отметить несколько ключевых аспектов, способных повысить эффективность и практическую значимость модели. Перспективы дальнейшего исследования: расширение набора данных за счёт включения большего количества текстов из различных источников (социальные сети, форумы, личные дневники) позволит улучшить обобщающую способность модели, замена однослойной нейросети на более продвинутые модели, такие как LSTM, GRU или трансформеры (например, BERT), может повысить точность классификации, интеграция анализа не только текстовых данных, но и других модальностей (аудио, видео) для более комплексной оценки эмоционального состояния, адаптация модели для использования в чат-ботах, системах мониторинга соц-сетей или мобильных приложениях для психологической поддержки.

Проведённое исследование продемонстрировало возможность применения простых нейросетевых моделей для анализа уровня стресса по текстовым данным. Несмотря на ограниченный объём датасета и простоту архитектуры, модель показала удовлетворительные результаты, что подтверждается метриками и визуализацией процесса обучения. Работа подчёркивает потенциал нейросетевых технологий в области психолингвистики и открывает направления для дальнейших исследований. В будущем подобные системы смогут стать частью инструментов для мониторинга психического здоровья, помогая своевременно выявлять людей, нуждающихся в поддержке.

Список использованных источников:

1. Депрессивное расстройство (депрессия) [Электронный ресурс] : World Health Organization. – Режим доступа: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/depression. – Дата доступа: 05.04.2025.

2. Начало работы с PyTorch: создание и обучение нейронных сетей на Python [Электронный ресурс] : Hexlet. – Режим доступа: https://ru.hexlet.io/blog/posts/nachalo-raboty-s-pytorch-sozdanie-i-obuchenie-neyronnyh-setey-na-python. – Дата доступа: 07.04.2025.

3. Как понять ROC-кривые с помощью Python [Электронный ресурс] : Habr. – Режим доступа: https://habr.com/ru/companies/netologyru/articles/582756/. – Дата доступа: 09.04.2025.

UDC 004.8

NEURAL NETWORK ANALYSIS OF STRESS LEVELS FROM TEXT DATA

Kashko A.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Zhvakina A.V. – PhD in Technical Sciences, Associate Professor

Annotation. The work is a study and practical application of modern technologies that help analyze text data. The main focus is on the implementation of a primitive model in the Python programming language using the PyTorch library and its training. This approach allows you to identify the level of stress in a person based on the linguistic characteristics of the text.

Keywords. Neural network analysis, stress level, text data, PyTorch, binary classification, linguistic features.

УДК 004.627

АЛГОРИТМ СЖАТИЯ ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НУМЕРАЦИИ ПЕРЕСТАНОВОК

Могилевец Д.Э., студент гр.353505, Максименков В.А., студент гр.353502

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Калугина М.А. – канд. физ.-мат. наук, доцент

Аннотация. В данной работе приведено описание алгоритма сжатия информации без потерь с использованием идеи нумерации подпоследовательности различных подряд идущих элементов в исходной последовательности данных, доказана его корректность с обоснованием вычислительной сложности и внесены предложения по области применения.

Ключевые слова. Последовательность, перестановка, кодирование, сжатие информации, лексикографический номер, бит, множество.

Алгоритмы сжатия данных важны как для увеличения скорости их передачи, так и для уменьшения используемой памяти. По сохранности информации можно выделить два основных класса: алгоритмы сжатия с потерями и без потерь. В представленной работе рассматривается алгоритм сжатия данных без потерь, основанный на разбиении исходной последовательности на перестановки уникальных элементов и дальнейшем сжатии этих перестановок.

Сначала определимся с терминологией. Под последовательностью будем понимать упорядоченное множество целых неотрицательных чисел, а длиной такой последовательности будем называть число её элементов. Используя под понятием разрядности числа количество бит в его записи, будем считать битовой длиной последовательности число бит, необходимое для записи всей последовательности. В таком случае битовую длину последовательности получим, умножив разрядность максимального её элемента на длину самой последовательности. Назовём частичной перестановкой последовательность, в которой каждое число уникально. Так, например, $[9,6,7],[3,4,16,9],[7,8,0,3]$ – частичные перестановки, а $[9,3,2,9],[5,6,9,5,7,12]$ – нет. Тогда под перестановкой (полной перестановкой) будем понимать частичную перестановку длины K, где каждое число не превосходит $K-1$. Как можно заметить, введенное понятие не противоречит классическому определению перестановки. Например, $[2,1,0,3],[0,6,5,3,2,1,4]$ – перестановки (или полные перестановки).

Из перечислительной комбинаторики известно, что число полных перестановок длины K равно $K!$. Найдём число частичных перестановок длины L, состоящих из чисел, меньших K. Понятно, что оно равно числу размещений L элементов по K местам. Поэтому искомое значение определяется по формуле

$$A_K^L = \frac{K!}{(K-L)!}. \quad (1)$$

Тогда общее количество частичных перестановок из чисел, не превосходящих K, можно найти как сумму

$$\sum_{L=1}^{K} \frac{K!}{(K-L)!} = K! \sum_{L=1}^{K} \frac{1}{(K-L)!} = K! \sum_{L=0}^{K-1} \frac{1}{L!}. \quad (2)$$

Из теории информации (см., например, [1, с. 22]) известно, что для хранения одного элемента множества мощности R необходимо не менее $log_2(R)$ бит при равновероятном распределении его элементов. Таким образом, для хранения всей перестановки понадобится не менее $log_2\left(K! \sum_{L=0}^{K-1} \frac{1}{L!}\right)$ бит. Сумма, на которую умножается $K!$, как известно, достаточно быстро сходится к e при росте K. Тогда для логарифма, используя формулу Стирлинга для асимптотической оценки факториала, можно получить верхнюю оценку:

$$log_2\left(K! \sum_{L=0}^{K-1} \frac{1}{L!}\right) \leq log_2(eK!) \approx log_2(e) + log_2\left(\sqrt{2\pi K}\left(\frac{K}{e}\right)^K\right) \approx Klog_2(K) - K + 3, \quad (3)$$

что меньше, чем $Klog_2(K)$ бит, которые необходимо применить при явном кодировании последовательности.

Идея алгоритма и его краткое описание

Пусть каждое из чисел в перестановке не превосходит 2^n и для хранения каждого из них используется n бит. Тогда для хранения полной перестановки требуется $n2^n$ бит. Однако по формуле (3) видно, что на самом деле достаточно всего $(n-1)\cdot 2^n$ бит при $n \geq 2$. Тогда экономится 2^n бит, а с учётом грубости оценки – ещё больше.

Для получения этого выигрыша на практике предлагается выстроить все перестановки в лексикографическом порядке и использовать в качестве кодирования просто номер этой самой перестановки. Возникает проблема: получить из частичной перестановки её номер в словаре всех перестановок и, наоборот, из номера перестановки в словаре всех перестановок получить её саму. Эти задачи решают процедуры 1 и 2, описанные ниже.

Приведем описание алгоритма сжатия:

- отыщем наилучшую на данный момент частичную перестановку (самую длинную из них) при помощи процедуры 3;
- заменим данную частичную перестановку на её код;
- в последовательности, из которой удалена текущая наилучшая перестановка, вновь отыщем самую длинную;
- если она включает в себя место, где на прошлом ходу была удалена перестановка, то запишем, помимо кода текущей перестановки, также и индекс, где была расположена удалённая перестановка;
- в случае, если перестановка слишком мала, чтобы её замена на её код давала выигрыш по количеству бит, будем считать кодом данной перестановки её саму.

Данный процесс будем повторять до тех пор, пока у нас не останется последовательность длины 0. Для раскодирования необходимо будет добавить в начало каждого сжатого блока бит, означающий, применено ли кодирование при помощи номера перестановки, а также n бит, означающих длину сжатой перестановки.

Процедура получения номера частичной перестановки (Процедура 1)

Пусть дана частичная перестановка $perm$ длины n. Необходимо найти её номер в лексикографическом словаре всех частичных перестановок.

Чтобы найти её лексикографический номер, достаточно на каждом шаге смотреть, каким по счёту среди ещё не использованных элементов является текущий элемент. Затем умножать этот индекс на факториал оставшегося количества позиций и суммировать результаты.

Процедура 1 принимает список $perm$ длины n, а также число K.

1: $elems \leftarrow [0,1,\ldots,K-1]$
2: $counts \leftarrow [1]$
3: $curr_{sa} \leftarrow 1$
4: $fori \leftarrow 1K-1do$
5: $curr_{sa} \leftarrow (i+1) * curr_{sa} + 1$
6: $countsss.append(curr_{sa})$
7: $endfor$
8: $number \leftarrow 0$
9: $fori \leftarrow 0n-1do$
10: $index \leftarrow elems.index(perm[i])$
11: $remaining \leftarrow K-i-1$
12: $number \leftarrow number + index * counts[remaining]$
13: $elems.remove(index)$
14: $endfor$
15: $returnnumber + n - 1$

Первая часть процедуры ответственна за вычисление $\sum_{i=0}^{n} A_n^i$ по всем n от 1 до $K-1$. Для вычисления используется рекуррентное соотношение $\sum_{i=0}^{n} A_n^i = n\sum_{i=0}^{n-1} A_{n-1}^i + 1$, которое легко доказывается при непосредственной записи A_n^i. Далее с использованием вычисленных значений находится номер перестановки.

Вклад (в смысле того, насколько больше он делает номер) каждого отдельного элемента перестановки можно оценить как количество перестановок, начинающихся на любой элемент меньше, при условии, что все последующие элементы могут быть любыми (или вообще отсутствовать). Но тогда количество элементов, меньше добавившихся из-за нового элемента, можно найти как $m\sum_{i=0}^{n} A_n^i$, где m – сам этот

элемент, а n – число не встречавшихся ранее в перестановке чисел из множества $\{1,..,K\}$. В конце к искомому номеру добавляется длина последовательности без единицы, данный вклад вносит последнее число.

Общая сложность алгоритма может быть оценена как $O(n+K)$, поскольку он состоит из двух циклов: первый по K, а второй – по n. В реальной программной реализации цикл по K можно вынести за тело процедуры и передавать в неё итоговый массив. Тогда сложность процедуры уменьшится до $O(n)$.

Процедура получения частичной перестановки из её номера (Процедура 2)

Пусть даны длина перестановки n и её номер num в лексикографическом порядке (номер считается от 0). Необходимо восстановить перестановку. Для этого последовательно «вырезаем» из списка доступных элементов тот, который соответствует текущему блоку перестановок размера $\sum_{i=0}^{n} A_n^i$. Сначала определяем, какой элемент идёт на первую позицию, потом — на вторую и так далее. Алгоритм работает путем последовательного вычисления индекса элемента, который должен быть на текущей позиции, и уменьшения номера оставшейся перестановки.

Процедура 2 принимает число элементов K и номер перестановки num.

$1: elems \leftarrow [0,1,\ldots,K-1]$
$2: perm \leftarrow [\quad]$
$3: remaining_{num} \leftarrow num$
$4: counts \leftarrow [1]$
$4: curr_{sa} \leftarrow 1$
$5: fori \leftarrow 1K-1do$
$6: curr_{sa} \leftarrow (i+1) * curr_{sa} + 1$
$7: countsss.append(curr_{sa})$
$8: endfor$
$9: fori \leftarrow 0K-1do$
$10: ifelemsisemptythen$
$11: break$
$12: forcandidate \in elemsdo$
$13: n \leftarrow K-(i+1)$
$14: \sum \leftarrow counts[n]$
$15: ifremaining_{num} \geq \sum then$
$16: remaining_{num} \leftarrow remaining_{num} - \sum$
$17: continue$
$18: else$
$19: perm.append(candidate)$
$20: elems.remove(candidate)$
$21: break$
$22: endfor$
$23: ifremaining_{num} = 0then$
$24: break$
$25: if(K-(i+1)) > 0then$
$26: remaining_{num} \leftarrow remaining_{num} - 1$
$27: endfor$
$28: returnperm$

Процесс начинается с создания списка всех доступных элементов и массива $counts$ для хранения числа перестановок, которые можно собрать с оставшимися элементами. На каждом шаге алгоритм вычисляет, сколько перестановок начинается с каждого возможного элемента. Для этого используется факториал, как и в первой процедуре, но в данном случае задача заключается в том, чтобы вычленить именно тот элемент, который соответствует текущему номеру в лексикографическом порядке.

После нахождения нужного элемента его удаляют из списка доступных, а оставшийся номер перестановки уменьшается, что позволяет точно определить следующий элемент. Этот процесс повторяется до тех пор, пока не будет восстановлена вся перестановка.

Время выполнения второй процедуры оценивается как O(*n* + *K*), где *n* – длина перестановки, а *K* – количество доступных элементов. Алгоритм состоит из двух основных частей: вычисления значений в массиве $counts$(что требует $O(K)$ времени) и восстановления самой перестановки (каждый элемент выбирается за $O(n^2)$ времени, так как на каждом шаге нужно пройти по списку доступных элементов).

Таким образом, общая сложность процедуры пропорциональна сумме этих двух операций, что даёт оценку $O(n^2 + K)$.

Поиск лучшей перестановки для сжатия за линию (Процедура 3)

Дана последовательность длины n. В ней необходимо отыскать самую длинную непрерывную подпоследовательность с уникальными элементами.

Для этого будем использовать следующий алгоритм, работающий за $O(n)$, где n – длина последовательности. Будем использовать скользящее окно.

Процедура 3 принимает последовательность $sequence$ длины n.

$1: 0$
$2: \leftarrow 0$
$3: max_{len} \leftarrow 0$
$4: best_{pair} \leftarrow (0,0)$
$5: seen \leftarrow \emptyset$
$6: while < ndo$
$7: if sequence[\quad] \notin seenthen$
$8: seen.add(sequence[\quad])$
$9: \leftarrow +1$
$10: if - max_{len} then$
$11: max_{len} \leftarrow -$
$12: best_{pair} \leftarrow ()$
$13: else$
$14: seen.remove(sequence$
$15: 1$
$16: endwhile$
$17: returnbest_{pair}$

Поясним работу процедуры. Инициализируем два индекса: один будет указывать на левую границу текущего окна, другой – на правую. Будем поддерживать множество тех элементов, которые в данный момент находятся в скользящем окне, с помощью структуры данных, способной за амортизированное $O(1)$ добавлять, удалять уникальные элементы и проверять наличие заданного элемента. Этим требованиям удовлетворяет, например, хэш-таблица.

На каждом шаге алгоритма будем сдвигать правую границу вправо на единицу. Если нового элемента нет, то добавим его во множество и продолжим. В случае, когда элемент, на который сейчас указывает правый индекс, уже присутствует во множестве – запишем текущие правую и левую границу и будем сдвигать левую границу до тех пор, пока не окажемся на позиции после первого вхождения повторившегося элемента. Параллельно будем удалять все встретившиеся элементы из множества.

Повторяем это, пока правая граница не дойдёт до конца списка. Далее из всех выписанных пар левых и правых индексов выберем такую, где разность будет максимальной. Это и будет искомая перестановка.

Количество шагов алгоритма равно количеству различных значений, которые будут принимать левый и правый индексы. Поскольку и правая и левая границы принимают каждое из значений от 1 до n не более одного раза, а все операции вставки и удаления происходят за $O(1)$, то конечная сложность алгоритма – $O(n)$.

Область применения

Во многих прикладных задачах данные естественным образом представляют собой последовательности достаточно длинных перестановок или подпоследовательностей уникальных элементов. В таких случаях предложенный метод сжатия информации с использованием лексикографической нумерации перестановок может быть особенно эффективен. Укажем наиболее перспективные направления.

При организации индексов или хранении упорядоченных ключей. Представление данных в виде перестановок и их компактная нумерация позволяют сократить объём хранимой информации и ускорить операции поиска.

В системах мониторинга и сбора логов часто возникают последовательности уникальных событий (например, запросов, команд, состояний), которые интерпретируются как перестановки. Их сжатие описанным методом повышает эффективность хранения и анализа.

В ряде задач (например, ранжирование, рекомендации, комбинаторная оптимизация) данные представлены перестановками объектов. Использование сжатия на основе лексикографических номеров может быть полезно при передаче данных между компонентами системы или для компактного хранения обучающих выборок.

Для описанных алгоритмов были разработаны программные реализации на языке программирования Python. Планируется проведение экспериментального исследования для сравнительного анализа временной сложности процедур и полученных теоретических оценок.

Список использованных источников:

1. Уэлстид С. Фракталы и вейвлеты для сжатия изображений в действии : учеб. пособие / С. Уэлстид – Москва: Триумф, 2003 -320 с.: ил.

UDC 004.627

DATA COMPRESSION ALGORITHM USING PERMUTATIONS NUMBERING

Mahiliavets D.E, Maksimenkau U.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Kalugina M.A. – PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor

Annotation. This paper describes a lossless data compression algorithm using the idea of numbering a subsequence of different consecutive elements in the original data sequence, proves the correctness of this method and options for its use in various areas of information technology.

Keywords. Sequence, permutation, coding, compression, lexicographic number, bit, set.

УДК 004.6

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ УРОВНЯ ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ И ОБЪЕМА ВЫБРОСОВ CO2 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИБЛИОТЕКИ PANDAS

Козлова Т.В., студент гр. 353504

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Жвакина А.В. – канд. техн. наук, доцент

Аннотация. В работе исследуется зависимость объема выбросов CO2 в городах от социально-экономических показателей с применением информационных технологий для обработки данных и вычисления статистических значений.

Ключевые слова. Анализ данных, pandas, социально-экономические факторы, выбросы CO2, корреляция, t-тест.

Анализ данных – это процесс сбора, обработки, анализа и интерпретации информации, в результате которого разрозненные данные превращаются в законченную информационную продукцию – аналитический документ.

Социально-экономические статистические показатели характеризуют развитие экономики и социальной сферы.

Углекислый газ (CO2) - одна из ключевых угроз для экологии и климата Земли. Сжигание ископаемого топлива, промышленность, транспорт и вырубка лесов ежегодно выбрасывают в атмосферу десятки миллиардов тонн CO2, усиливая парниковый эффект и ускоряя глобальное потепление.

Поэтому для объекта исследования выбран объем выбросов CO2 (или же загрязнение) в различных городах с учетом таких социально-экономических факторов, как индекс покупательной способности (ИПС), индекс времени (ИВ). Зависимость изучается за последние несколько лет (2021-2025) для определения динамики роста(снижения) показателей. Для исследования выбрано 249 городов по всему миру (большая часть из Европы, Азии и Северной Америки) [1 – 3].

Индекс покупательной способности показывает относительную покупательную способность на основе средней чистой заработной платы. Значение 40 означает, что в среднем жители могут позволить себе на 60% меньше товаров и услуг, чем жители Нью-Йорка со средней зарплатой. Чем выше ИПС, тем лучше.

Индекс времени представляет собой среднее ежедневное время в пути в одну сторону в минутах. Он дает представление о времени, которое требуется для путешествия из одного места в другое в пределах города.

В данной работе применена библиотека pandas для статистических вычислений, импортирования набора данных и экспорта результатов. DataFrame – это двумерная маркированная структура, фактически таблица данных.

Медиана набора чисел – число, которое находится в середине этого набора, если его упорядочить по возрастанию.

Коэффициент корреляции – значение, показывающее прямолинейную связь между переменными. Он принимает значение от -1 до 1. Чем ближе значение к 1, тем выше положительная корреляция между показателями. Если оно, наоборот, ближе к -1 – корреляция отрицательная.

Т-тест – общее название для класса методов статистической проверки гипотез (статистических критериев), основанных на распределении Стьюдента. Т-статистика строится обычно по следующему общему принципу: в числителе – случайная величина с нулевым математическим ожиданием (при выполнении нулевой гипотезы), а в знаменателе – выборочное стандартное отклонение этой случайной величины, получаемое как квадратный корень из несмещённой оценки дисперсии.

P-значение – вероятность получить для данной вероятностной модели распределения значений случайной величины такое же или более экстремальное значение статистики (среднего арифметического, медианы и др.), по сравнению с ранее наблюдаемым, при условии, что нулевая гипотеза верна.

Методология исследования зависимости реализована через следующие шаги: для каждого года последовательно вычисление медиан сравниваемых и сравнивающих столбцов (метод median класса DataFrame), разделение данных на группы по медиане сравнивающего столбца, расчет медиан сравниваемого столбца в этих группах, а также определение коэффициента корреляции (метод corr) и p-значения t-теста (библиотека scipy.stats).

Результаты исследования зависимости выбросов CO2 от социально-экономических факторов за 2023-2025 представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты исследования зависимости преступности

Фактор	СЗ фак-тора	СЗ группы выше медианы зависимости	СЗ группы ниже медианы зависимости	Разница	Процент разницы от среднего	Корреляция	P-значение
2025							
ИПС	92.7	38.7	64.3	25.6	48.03	-0.568	0.0
ИВ	35.35	60.0	40.2	19.8	38.335	0.482	0.0
2024							
ИПС	69.5	40.6	67.4	26.8	48.029	-0.543	0.0
ИВ	37.4	58.0	41.1	16.9	32.314	0.477	0.0
2023							
ИПС	69.45	38.6	67.8	29.2	53.043	-0.639	0.0
ИВ	35.7	61.3	38.8	22.5	44.204	0.516	0.0
2022							
ИПС	61.25	39.15	69.2	30.05	52.998	-0.635	0.0
ИВ	35.1	60.0	39.45	20.55	41.348	0.522	0.0
2021							
ИПС	56.15	38.3	67.9	29.6	52.857	-0.672	0.0
ИВ	35.2	62.2	40.9	21.3	42.095	0.508	0.0

Результаты показывают наличие значимых зависимостей. Если смотреть исключительно на процент разница от среднего значения, то можно только сделать предположение о некоторой зависимости, и неясно, какой процент можно считать достаточно большим, а какой нет. Для уточнения результатов и была исследована корреляция, а после проведен статистический t-тест.

ИПС и ИВ оказались влиятельными показателями: у них относительно высокий процент разницы, корреляция по модулю близка к 0.5. Отрицательное значение корреляции свидетельствует о том, что с увеличением значения индекса покупательной способности уменьшается индекс выбросов CO2, что и предполагалось.

В свою очередь индекс времени имеет положительную корреляцию, что говорит о том, что он растет вместе с индексом выбросов CO2.

Во всех случаях p-значение t-теста равно 0, что говорит о существенной зависимости между показателями.

За 5 лет можно наблюдать уменьшение разницы между средним значением загрязнения для стран с лучшими и худшими социально-экономическими факторами. Коэффициент корреляции также уменьшается по модулю с увеличением года, однако в 2025 году есть небольшой прирост.

Графики зависимости индекса выбросов CO2 от индекса покупательной способности за 2021 и 2025 представлены на рисунке 1.

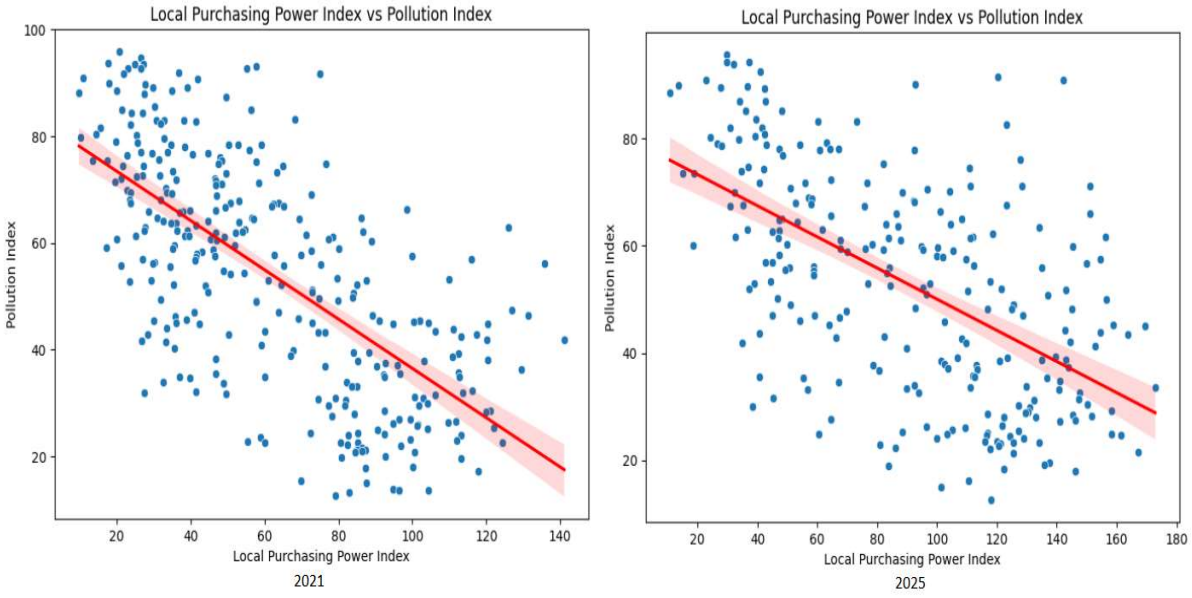


Рисунок 1 – График зависимости индекса загрязнения от ИПС за 2021, 2025

Распределение синих точек (индекс выбросов) показывает, что более высокие значения ИПС в целом связаны с более низкими значениями загрязнения. Однако точки довольно сильно разбросаны, что говорит о том, что связь между этими переменными не является строго линейной, и на индекс выбросов влияют и другие факторы.

Можно наблюдать уменьшение связанности между значением ИПС и индексом выброса CO2, если сравнивать графики за 2021 и 2025 года.

Графики зависимости индекса выбросов CO2 от индекса времени за 2021 и 2025 представлены на рисунке 2.

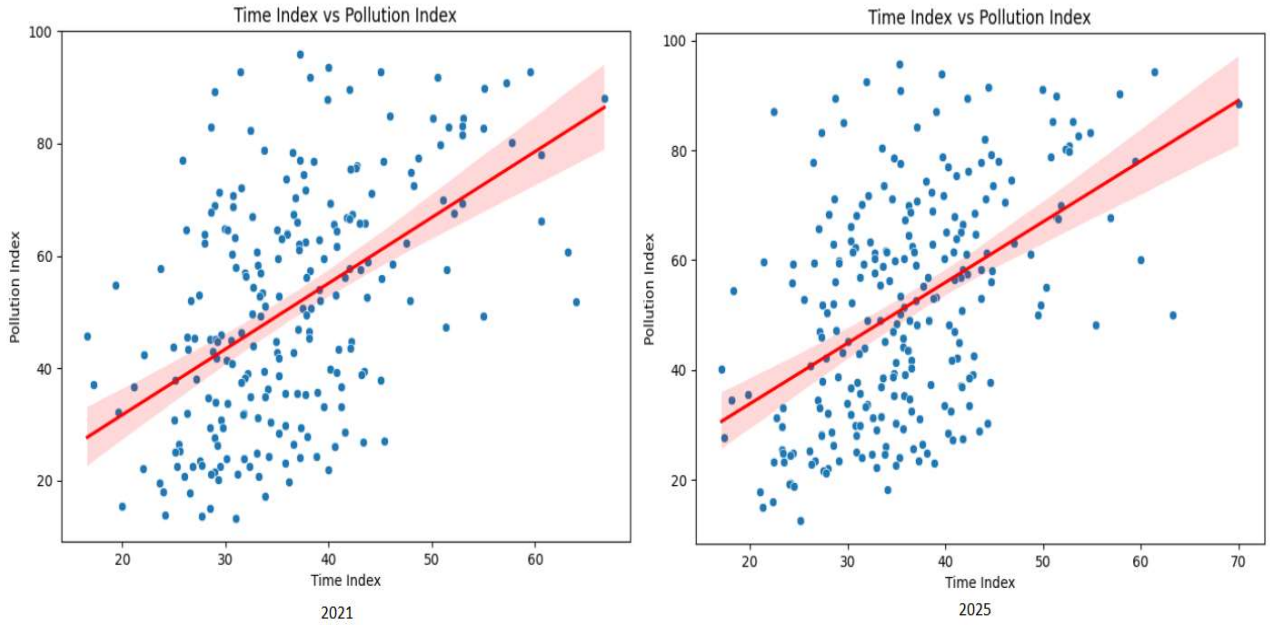


Рисунок 2 – График зависимости индекса загрязнение от ИТ за 2021, 2025

В данном случае видно, что высокие значение индекса выброса CO2 связаны с более высокими значениями индекса времени. Можно заметить, что за 2021 и 2025 года зависимость практически не изменилась.

Использование pandas определенно упростило анализ данных (выделение нужных данных из множества строк таблиц) и само статистическое исследование.

Изменение зависимости CO2 от индекса покупательной способности связано с тем, что происходит массовый переход на электромобили – транспорт с нулевыми выбросами, сокращающий эмиссию от сжигания бензина и дизеля. Однако часть этого эффекта нивелируется углеродным следом производства батарей и генерации электроэнергии для зарядки. Также рост числа машин в развивающихся странах увеличивает выбросы.

В том числе изменение зависимости связано с переходом в разных городах к солнечной и ветровой энергетике. Переработка мусора, снижающая объёмы свалок и мусоросжигания, уменьшает выбросы метана и CO2.

Одной из причин неизменности зависимости выбросов CO2 от индекса времени, несмотря на распространение электромобилей, остаются пробки, которые влияют на батарею электромобилей (и соответственно увеличивается выброс от производства).

Для снижения CO2 мы можем предпринять разные меры. К ним относятся распространение экологичного транспорта – использование электромобилей, развитие общественного транспорта (в том числе электробусов) и велодвижения; введение экологических стандартов – налоги на углерод, запрет одноразового пластика, субсидии для "чистых" производств; поддержка научных исследований – инвестиции в инновационные технологии, такие как термоядерная энергетика или искусственный фотосинтез.

Самое важное – переход к чистым источникам энергии, так как выбросы CO2 напрямую зависят от энергопотребления [4].

Список использованных источников:

1. Numbeo cost of living [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.numbeo.com/cost-of-living/ – Дата доступа: 14.04.2025

2 Numbeo pollution [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.numbeo.com/pollution/ – Дата доступа: 14.04.2025

3. Numbeo traffic [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.numbeo.com/traffic/ – Дата доступа: 14.04.2025

4.Sciencedirect [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026499932300007X#sec4 – Дата доступа: 14.04.2025

UDC 004.6

STATISTICAL ANALYSIS OF SOCIO-ECONOMIC FACTORS OF CRIME USING THE PANDAS LIBRARY

Kozlova T.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Zhvakina A.V. – Associate Professor of the Department of Computer Science

Annotation. The work examines the dependence of CO2 emissions in cities on socio-economic indicators using information technology for data processing and calculating statistical values.

Keywords. Data analysis, pandas, socio-economic factors, CO2 emissions, correlation, t-test.

УДК 004.989

ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ PYTHON

Канавальчик А.Д., студент гр.253502

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Жвакина А.В. – канд. техн. наук, доцент

Аннотация. В данной научной работе представлен персонализированный подход к анализу пищевых продуктов с использованием языка Python. Демонстрируется процесс загрузки и фильтрации данных с открытого API Open Food Facts, визуализация продуктов по уровню сахара, соли и калорийности, а также создание простого пользовательского интерфейса. Актуальность обусловлена потребностями групп с хроническими заболеваниями, такими как диабет и гипертония.

Ключевые слова. Персонализированный анализ, API, фильтрация, визуализация данных, Python.

Введение.

Здоровое питание – ключевой фактор в профилактике и контроле многих хронических заболеваний. В последние годы наблюдается рост интереса к персонализированным методам анализа и подбора продуктов, особенно среди людей с особенностями здоровья. К примеру, людям с сахарным диабетом необходимо тщательно следить за содержанием сахара в пище, а гипертоникам – ограничивать потребление соли. Тем не менее, современные магазины и производители предлагают огромное количество продуктов, и выбор подходящих из них без поддержки цифровых инструментов может быть затруднительным.

С применением языков программирования и аналитических библиотек открываются новые возможности для создания персонализированных систем поддержки принятия решений. Язык Python благодаря своей гибкости и богатой экосистеме инструментов особенно подходит для подобных задач. С его помощью можно автоматизировать сбор данных, произвести фильтрацию, построить визуальные отчёты и предоставить пользователю удобный интерфейс для работы с результатами анализа.

Данная работа посвящена разработке такого инструмента: описываются этапы построения системы персонализированного анализа продуктов питания, от получения информации до визуализации и взаимодействия с пользователем. Основой для анализа служат данные, полученные с открытого API Open Food Facts [1].

Основная часть.

Для реализации персонализированного анализа был разработан программный инструмент на языке Python. Он включает в себя автоматический сбор данных о продуктах питания с использованием Open Food Facts API, фильтрацию с учётом состояния здоровья пользователя и визуализацию результатов через графический интерфейс.

1 Сбор и подготовка данных

Первым шагом стало получение актуальной информации о продуктах питания из открытого API – Open Food Facts [1]. Этот сервис предоставляет свободный доступ к данным о составе, пищевой ценности и энергетических характеристиках продуктов по всему миру.

Перед проведением анализа данные предварительно очищаются от строк с пропущенными значениями, что гарантирует корректность последующих вычислений. В зависимости от выбранного пользователем состояния здоровья (например, диабет или гипертония), автоматически определяется ключевая метрика, наиболее значимая в конкретном контексте – будь то содержание сахара, соли или общая калорийность. На основе этой метрики для каждого продукта вычисляется так называемый "индекс здоровья", отражающий степень его соответствия заданным условиям: чем ниже значение индекса, тем более предпочтительным считается продукт. После ранжирования всех позиций по этому индексу система выделяет пять наиболее полезных и пять наименее подходящих продуктов, позволяя пользователю сориентироваться в выборе с учётом индивидуальных потребностей [2].

Программа обращается к API и постранично загружает данные (рисунок 1).

```python
# Шаг 1: Получение данных с нескольких страниц API Open Food Facts
def get_food_data(page_size=100, num_pages=3):
    all_food_data = []
    for page in range(1, num_pages + 1):
        url = f'https://world.openfoodfacts.org/api/v2/search?fields=code,product_name,nutriments,image_url&page_size={page_size}&page={page}'
        response = requests.get(url)
        data = response.json()

        if not data['products']:
            break  # Если на странице нет продуктов, выходим из цикла

        products = data['products']

        for product in products:
            # Пропускаем продукт, если у него нет имени (пустая строка)
            if not product.get('product_name'):
                continue

            nutriments = product.get('nutriments', {})
            all_food_data.append({
                'product_name': product.get('product_name', 'Unknown'),
                'image_url': product.get('image_url', ''),
                'proteins': nutriments.get('proteins_100g', None),
                'fats': nutriments.get('fat_100g', None),
                'sugars': nutriments.get('sugars_100g', None),
                'carbohydrates': nutriments.get('carbohydrates_100g', None),
                'energy': nutriments.get('energy_100g', None),
                'sodium': nutriments.get('salt_100g', None)
            })

    df = pd.DataFrame(all_food_data)
    return df

# Получаем данные (например, 5 страниц по 100 продуктов)
food_df = get_food_data(page_size=100, num_pages=5)
print(food_df);
```

Рисунок 1 – Загрузка данных с API

На выходе формируется таблица, где каждая строка – это отдельный продукт, а столбцы содержат ключевые питательные характеристики.

2 Персонализированная фильтрация по состоянию здоровья

После сбора данных система адаптирует рекомендации под состояние здоровья конкретного пользователя. Реализовано три режима:

– diabetic – приоритет отдается продуктам с низким содержанием сахара;

– hypertension – исключаются продукты с высоким содержанием соли;

– general – отбираются продукты с низкой энергетической ценностью.

Алгоритм персонализированной фильтрации начинается с предварительной очистки данных – удаляются все записи с отсутствующими значениями ключевых показателей, чтобы обеспечить надёжность анализа. Далее система автоматически выбирает наиболее релевантную метрику в зависимости от состояния здоровья пользователя: для людей с диабетом приоритет отдается уровню сахара, для гипертоников – содержанию соли, а для остальных пользователей – общей энергетической ценности продуктов (рисунок 2).

```python
# Шаг 2: Фильтрация данных по состоянию здоровья
def filter_by_condition(df, condition):
    # Убираем продукты с отсутствующими важными значениями
    df = df.dropna(subset=['sugars', 'energy', 'sodium'])

    # Если критерием является диабет, проверяем, чтобы сахар не был нулевым
    if condition == 'diabetic':
        df['health_score'] = df['sugars']  # Чем выше сахар, тем хуже
        criteria = 'Сахар'
        df = df[df['health_score'] != 0]  # Исключаем продукты с нулевым сахаром
        # Сортировка по сахару, минимальное количество сахара - полезные продукты
        df = df.sort_values(by='health_score', ascending=True)
    elif condition == 'hypertension':
        df['health_score'] = df['sodium']  # Чем выше натрий (соль), тем хуже
        criteria = 'Соль'
        df = df[df['health_score'] != 0]  # Исключаем продукты с нулевым натрием
        # Сортировка по соли, минимальное количество соли - полезные продукты
        df = df.sort_values(by='health_score', ascending=True)
    else:
        df['health_score'] = df['energy']  # Для других категорий используем энергию
        criteria = 'Энергия'
        df = df[df['health_score'] != 0]  # Исключаем продукты с нулевой энергией
        # Сортировка по энергии, минимальное количество энергии - полезные продукты
        df = df.sort_values(by='health_score', ascending=True)

    # Получаем топ-5 лучших и худших продуктов
    top_good = df.head(5)
    top_bad = df.tail(5)

    # Гарантируем минимум 5 продуктов для отображения
    top_good = ensure_min_products(top_good)
    top_bad = ensure_min_products(top_bad)

    return top_good, top_bad, criteria
```

Рисунок 2 – Фильтрация данных по состоянию здоровья

На основе выбранной метрики каждому продукту присваивается индивидуальная "оценка здоровья", которая отражает степень его соответствия заданным критериям: чем ниже это значение, тем продукт считается более полезным. Затем происходит ранжирование – продукты упорядочиваются от лучших к худшим в соответствии с оценкой. В результате формируются две группы: пять наиболее подходящих и пять наименее рекомендуемых продуктов. Такой подход обеспечивает высокую точность и значимость рекомендаций, адаптированных под конкретные потребности пользователя.

3 Визуализация результатов

Для наглядности и простоты восприятия данные визуализируются в виде горизонтальных столбчатых диаграмм. Одна диаграмма показывает продукты с низким содержанием "опасного" компонента, а вторая – с высоким (рисунок 3).

```python
# Шаг 3: Визуализация данных
def visualize_top_products(top_5_good, top_5_bad, criteria):
    fig, ax = plt.subplots(1, 2, figsize=(12, 6))

    # Проверка на наличие данных для полезных продуктов
    if not top_5_good.empty:
        ax[0].barh(top_5_good['product_name'], top_5_good['health_score'], color='green')
        ax[0].set_title(f"Топ 5 полезных продуктов (низкий {criteria})")
        ax[0].set_xlabel(f"Содержание {criteria} (г/100г)")
    else:
        ax[0].axis('off')  # Если нет данных, не показываем график

    # Проверка на наличие данных для вредных продуктов
    if not top_5_bad.empty:
        ax[1].barh(top_5_bad['product_name'], top_5_bad['health_score'], color='red')
        ax[1].set_title(f"Топ 5 вредных продуктов (высокий {criteria})")
        ax[1].set_xlabel(f"Содержание {criteria} (г/100г)")
    else:
        ax[1].axis('off')  # Если нет данных, не показываем график

    plt.tight_layout()
    plt.show()
```

Рисунок 3 – Визуализация данных

Модуль визуализации преобразует числовые данные в наглядную форму, делая результат анализа легко воспринимаемым даже без технических знаний. Интерфейс отображает два отдельных графика: один демонстрирует топ-5 наиболее полезных продуктов, другой – те, которых желательно избегать [3]. На горизонтальной оси каждого графика представлены значения ключевого параметра – сахара, соли или энергии – в зависимости от выбранного состояния здоровья пользователя. Вертикальная ось содержит наименования продуктов, отобранных в ходе анализа.

Для усиления восприятия используются цветовые акценты: зелёный цвет подчёркивает благоприятные продукты, в то время как красный сигнализирует о потенциально вредных. Такой подход позволяет быстро и интуитивно сравнить альтернативы, делая выбор более осознанным. На рисунках 4-6 представлены примеры графиков, полученных в результате работы программы.

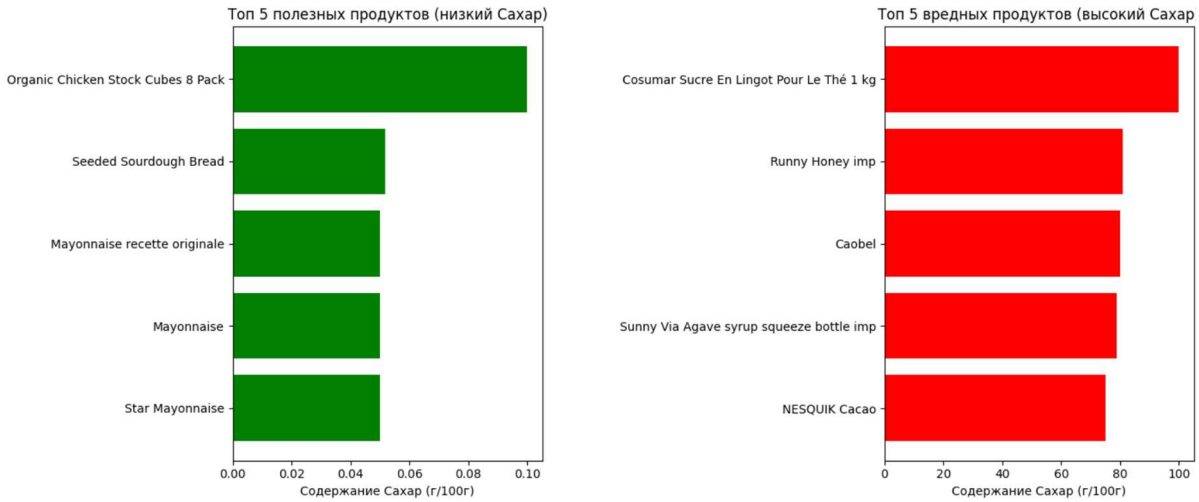


Рисунок 4 – Топ вредных и полезных продуктов для категории людей с диабетом

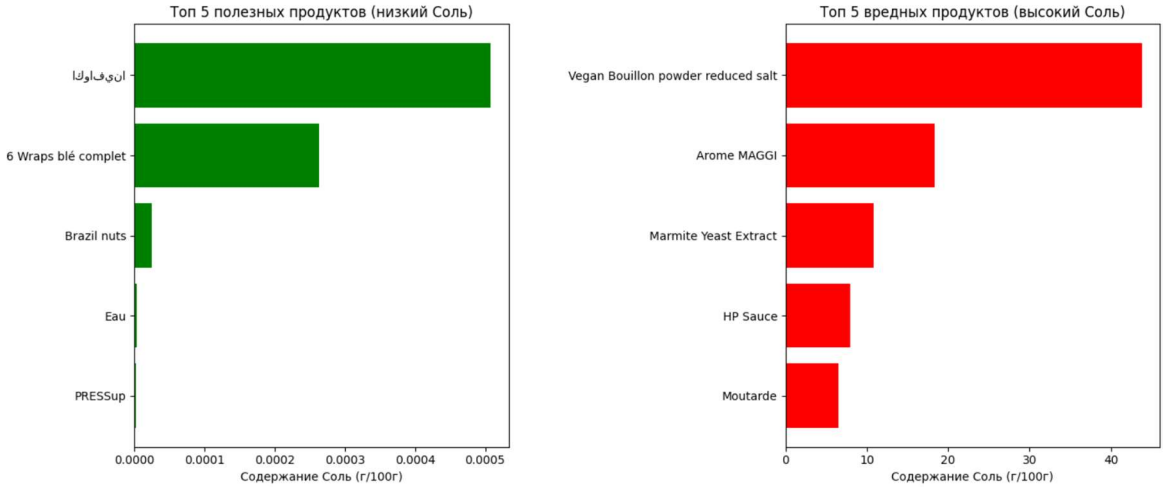


Рисунок 5 – Топ вредных и полезных продуктов для категории людей с гипертонией

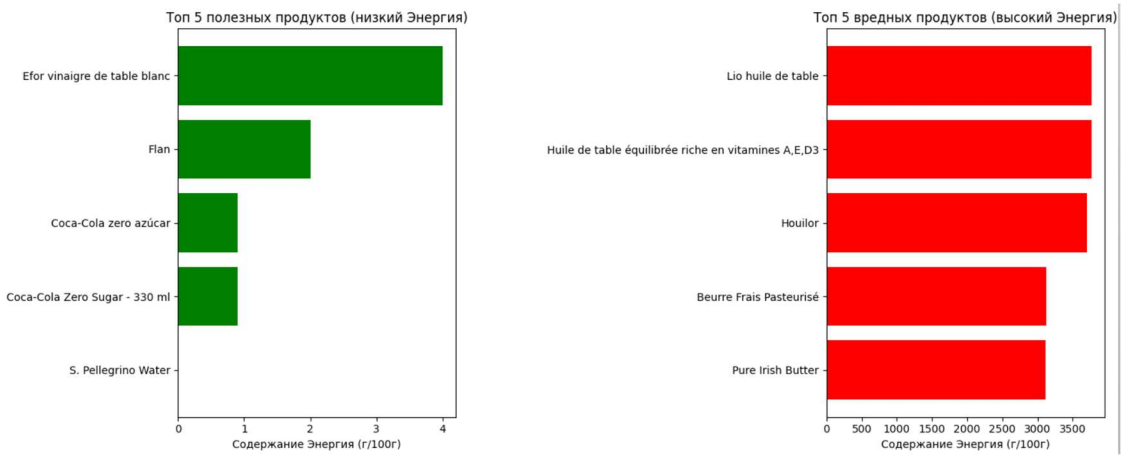


Рисунок 6 – Топ вредных и полезных продуктов относительно энергетической ценности

4 Интерактивный пользовательский интерфейс

Чтобы сделать приложение удобным для широкой аудитории, добавлен простой графический интерфейс на базе Tkinter [4]. Он позволяет выбрать интересующую категорию состояния здоровья из выпадающего списка и сразу получить визуальные рекомендации (рисунок.7).

```python
# Шаг 4: Создание интерфейса с Tkinter
def on_select_condition(event):
    condition = condition_combobox.get()
    top_5_good, top_5_bad, criteria = filter_by_condition(food_df, condition)
    visualize_top_products(top_5_good, top_5_bad, criteria)

# Создаем главное окно
root = tk.Tk()
root.title("Food Health Checker")

# Заголовок
label = tk.Label(root, text="Выберите категорию людей:")
label.pack(pady=10)

# Выпадающий список для выбора категории
condition_combobox = ttk.Combobox(root, values=["diabetic", "hypertension", "general"])
condition_combobox.bind("<<ComboboxSelected>>", on_select_condition)
condition_combobox.pack(pady=10)

# Запуск интерфейса
root.mainloop()
```

Рисунок 7 – Использование библиотеки Tkinter для построения пользовательского интерфейса

Графический интерфейс приложения построен таким образом, чтобы взаимодействие с системой было максимально простым и интуитивным. При запуске пользователь видит главное окно с лаконичным оформлением и выпадающим списком, в котором предлагается выбрать одну из категорий – диабет, гипертония или общее снижение калорийности.

Как только пользователь делает выбор, система автоматически запускает процесс анализа: происходит фильтрация данных в соответствии с выбранным состоянием здоровья, а затем отображаются соответствующие визуализации. Всё это происходит в реальном времени – без необходимости перезапуска приложения или дополнительных действий со стороны пользователя.

Интерфейс компактный, лёгкий и не требует специальных навыков, что делает его удобным как для личного, так и для образовательного или медицинского использования.

На рисунке 8 представлен внешний вид интерфейса.

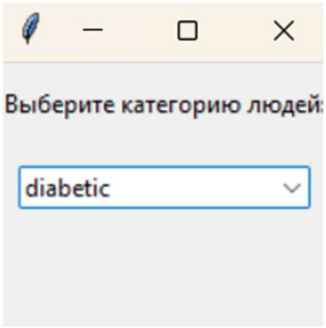


Рисунок 8 – Внешний вид интерфейса

Заключение.

Разработанная система персонализированного анализа пищевых продуктов на Python демонстрирует, как современные технологии могут помочь людям в принятии осознанных решений о питании. Система автоматически загружает данные, учитывает состояние здоровья пользователя и визуализирует полученные результаты, облегчая восприятие информации.

Преимущества разработанного решения:

– использование открытых данных без лицензий;
– высокая скорость обработки и фильтрации;
– наглядная визуализация и простой интерфейс;
– возможность расширения и интеграции с другими системами (например, фитнес-приложениями).

Перспективы развития проекта включают:

– добавление анализа микронутриентов (витамины, минералы);
– прогнозирование рисков с использованием ИИ;
– создание мобильного приложения с использованием той же логики;
– поддержка пользовательских профилей с историей предпочтений.

Таким образом, система закладывает основу для создания интеллектуальных помощников в области питания и здоровья, ориентированных на конкретные потребности человека.

Список использованных источников:

1. Open Food Facts API [Electronic resource]. – Mode of access: https://world.openfoodfacts.org/data. – Date of access: 10.04.2025.

2. Pandas: библиотека для анализа данных [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://pandas.pydata.org. – Дата доступа: 10.04.2025.

3. Matplotlib: визуализация данных [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://matplotlib.org. – Дата доступа: 10.04.2025.

4. Tkinter – встроенная библиотека Python для GUI [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.python.org/3/library/tkinter.html. – Дата доступа: 10.04.2025.

UDC 004.989

PERSONALIZED ANALYSIS OF FOOD PRODUCTS USING PYTHON

Kanavalchik A.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Zhvakina A.V. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Annotation. This scientific work presents a personalized approach to the analysis of food products using the Python programming language. It demonstrates the process of data loading and filtering from the open Open Food Facts API, visualization of products based on sugar, salt, and calorie levels, as well as the creation of a simple user interface. The relevance of this study is driven by the needs of groups with chronic conditions such as diabetes and hypertension.

Keywords. Personalized analysis, API, filtering, data visualization, Python.

УДК 681.32

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ДИСКРЕТНОЙ МАТЕМАТИКИ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ РАСПИСАНИЯ ПРИ РАЗВЕРТЫВАНИИ ПРИЛОЖЕНИЙ ИСПОЛЬЗУЯ СРЕДУ KUBERNETES

Хадорик М.Д, студент гр.453503

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Егорова Н.Г. – канд. технических наук, доцент

Аннотация. Приведен способ применение алгоритмов дискретной математики для решения задачи планирования маршрутов и последовательностей развертывания микросервисов в распределённых системах на базе Kubernetes. Основное внимание уделено топологической сортировке, как способе для установления порядка запуска сервисов с учётом их зависимостей. Путём моделирования зависимостей в виде ориентированного ациклического графа.

Ключевые слова. Микросервисы, топологическая сортировка, распределенные системы.

В нынешних тенденция популярностью пользуется микросервисная архитектура построения программного обеспечения. Для более автоматизированного развертывания таких систем может использоваться программное обеспечение для аркестровки контейнеров – Kubernetes. Однако возникает проблема: как определить порядок запуска сервисов при наличии зависимостей между ними?

Представим упрощенный интернет-сервис, состоящий из нескольких микросервисов:

– Database: Хранит всю информацию о нашем сервисе в разных SQL таблицах.

– UserService: Управляет информацией о пользователях. Имеет зависимость от Database.

– ProductService: Предоставляет информацию о товарах. Имеет зависимость от Database.

– OrderService: Обрабатывает заказы. Зависит от UserService и ProductService.

– Frontend: Веб-интерфейс для пользователей. Зависит от UserService, ProductService и OrderService.

При попытке запустить все эти сервисы одновременно или в случайном порядке в среде Kubernetes возникнут проблемы. OrderService не сможет запуститься, пока не функционируют UserService и ProductService. Те, в свою очередь, зависят уже от конкретных таблиц в Database. Неправильный порядок запуска может привести к ошибкам, неправильному распределению ресурсов и проблемам. И появляется вопрос, как выбрать последовательность для запуска микросервисов.

Зависимости между микросервисами можно представлить с помощью ориентированного ациклического графа (DAG), важно то, что орграф должен быть ациклическим, т.к если UserService зависел бы от OrderService, а OrderService – от UserService, возник бы цикл, который намекает на плохое архитектурное решение. В таком графе: вершины – это микросервисы (Database, UserService и т.д.); ребра – это зависимости. Если сервис A зависит от сервиса B, то строится ребро от A к B. Это означает, что B должен быть запущен до A.

Примерная зависимость для рассматриваемого сервиса представлена на рисунке 1.

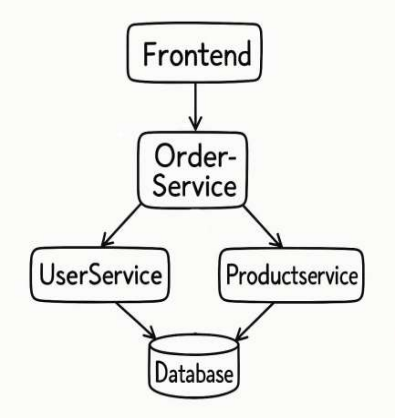


Рисунок 1 – Граф зависимостей нашего сервиса

Топологическая сортировка и ее применения для запуска сервиса:

Топологическая сортировка – это алгоритм, который для заданного DAG строит линейное упорядочение его вершин так, что для каждого ребра (зависимости между сервисами) A-B вершина B в этом порядке идет раньше вершины A. То есть, алгоритм находит последовательность, учитывающая все зависимости.

Один из распространенных методов топологической сортировки (алгоритм Кана [1]) работает следующим образом:

1. Подсчитать "входящую степень" для каждой вершины (в данном случае это кол-во зависимостей)

2. Найти все вершины с входящей степенью 0 (в данном случае это сервисы, которые ни от кого не зависят). Поместить их в очередь для обработки.

3. Пока очередь не пуста:

– Взять вершину U из очереди. Добавить U в итоговый отсортированный список.

– Для каждой вершины V, в которую ведет ребро из U (т.е. для каждого сервиса V, который зависит от U):

– Уменьшить входящую степень V на 1 (выполнена одна из ее зависимостей).

– Если входящая степень V стала равна 0, добавить V в очередь.

1. Результат: Если итоговый список содержит все вершины исходного графа, то это и есть одна из возможных топологических сортировок. Если в конце работы алгоритма в итоговом списке не все вершины, значит в графе был цикл.

Пошагово применим алгоритм к рассмотренному примеру:

1. Начальные состояния:

– Database: 0

– UserService: 1 (от `Database`)

– ProductService: 1 (от `Database`)

– OrderService: 2 (от `UserService`, `ProductService`)

– Frontend: 3 (от `UserService`, `ProductService`, `OrderService`)

2. Очередь: [Database] (единственная вершина со степенью 0).

3. Шаг 1:

– Берем Database. Итоговый список: [Database].

– Уменьшаем степени UserService (1-1=0) и ProductService (1-1=0).

– Добавляем UserService и ProductService в очередь. Очередь: [UserService, ProductService].

4. Шаг 2:

– Берем UserService. Итоговый список: [Database, UserService].

– Уменьшаем степени OrderService (2-1=1) и Frontend (3-1=2).

– Ничья степень не стала 0. Очередь: [`ProductService`].

5. Шаг 3:

– Берем ProductService. Итоговый список: [Database, UserService, ProductService].

– Уменьшаем степени OrderService (1-1=0) и Frontend (2-1=1).

– Добавляем OrderService в очередь (степень стала 0). Очередь: [OrderService].

6. Шаг 4:

– Берем OrderService. Итоговый список: [Database, UserService, ProductService, OrderService].

– Уменьшаем степень Frontend (1-1=0).

– Добавляем Frontend в очередь. Очередь: [Frontend].

7. Шаг 5:

– Берем Frontend. Итоговый список: [Database, UserService, ProductService, OrderService, Frontend].

– Зависимых вершин нет. Очередь пуста.

8. Алгоритм завершен. Список содержит все вершины.

Полученная последовательность Database, UserService, ProductService, OrderService, Frontend является корректным порядком развертывания (заметим, что если бы на шаге 2 был взят ProductService, итоговый порядок мог бы быть другим, но все равно оставался корректным).

Реализованный алгоритм топологической сортировки на языке программирования Golang, представленный на рисунке 2, позволил автоматизировать порядок нахождения правильной последовательности.

```go
// topologicalSort выполняет топологическую сортировку DAG графа зависимостей между сервисами.
// Возвращает порядок развертывания (от зависимостей к зависимым) и успешность/неуспешность сортировки.
func topologicalSort(graph map[string][]string) ([]string, bool) {

  inDegree := map[string]int{} // подсчет входящих рёбер
  adj := map[string][]string{} // обратный граф (от зависимости к зависимым

  // строим обратный граф
  for node, deps := range graph {
    if _, ok := inDegree[node]; !ok {
      inDegree[node] = 0
    }
    for _, dep := range deps {
      adj[dep] = append(adj[dep], node)
      inDegree[node]++
      if _, ok := inDegree[dep]; !ok {
        inDegree[dep] = 0
      }
    }
  }

  // создаем очередь с нодами без входящих рёбер
  queue := []string{}
  for node, degree := range inDegree {
    if degree == 0 {
      queue = append(queue, node)
    }
  }

  var result []string
  for len(queue) > 0 {
    current := queue[0]
    queue = queue[1:]
    result = append(result, current)

    for _, dependent := range adj[current] {
      inDegree[dependent]--
      if inDegree[dependent] == 0 {
        queue = append(queue, dependent)
      }
    }
  }

  // если в результате меньше нод, чем в графе — был цикл
  if len(result) != len(inDegree) {
    return nil, false
  }

  return result, true
}
```

Рисунок 2 – Реализация алгоритма топологической сортировки

Результат топологической сортировки напрямую задает последовательность, в которой инструменты автоматизации (например, скрипты в CI/CD пайплайне) должны применять конфигурации сервисов к Kubernetes (kubectl apply ...). Это гарантирует, что к моменту запуска очередного сервиса его зависимости уже будут развернуты, в CI/CD пайплайнах результат сортировки может использоваться напрямую как последовательность команд, либо как входной файл, по которому скрипт итеративно будет вызывать манифесты. Пример .yaml файла, представленный на рисунке 3, будет представлять часть возможной конфигурации для CI/CD пайплайна, используемого для автоматического развертывания Kubernetes-объектов.

```yaml
deploy:
  stage: deploy
  script:
    - kubectl apply -f manifests/database.yaml
    - kubectl apply -f manifests/userservice.yaml
    - kubectl apply -f manifests/productservice.yaml
    - kubectl apply -f manifests/orderservice.yaml
    - kubectl apply -f manifests/frontend.yaml
  environment:
    name: production
  only:
    - main
```

Рисунок 3 – Примерная реализация скрипта для пайплана

Таким образом, управление зависимостями является сложной задачей при работе с микросервисами. Использование топологической сортировки позволяет: уменьшить вероятность ошибок при развертывании сервиса из-за неудовлетворенных зависимостей, модернизировать сценарии развертывания распределенных систем, выявить потенциально проблемные участки в архитектуре проекта. Это не только повышает надежность процесса, но и служит инструментом для проверки архитектуры на возможную некорректность, конечно не решая всех возможных проблем.

Список использованных источников:

1. Алгоритмы: построение и анализ : учебник / Т. Кормен [и др.] ; пер. с англ. – 3-е изд. – М. : Вильямс, 2013. – Гл. 22. – С. 609–644.

2. Ньюман, С. Создание микросервисов / С. Ньюман – СПб. : Питер, 2016. – 352 с.

3. GeeksforGeeks [Electronic resource] : GeeksforGeeks: Topological Sorting. – Mode of access: https://www.geeksforgeeks.org/topological-sorting/. – Date of access: 13.04.2025.

4. Kubernetes Documentation [Electronic resource]. – Mode of access: https://kubernetes.io/docs/. – Date of access: 13.04.2025.

UDC 681.32

APPLYING DISCRETE MATHEMATICS ALGORITHMS TO SCHEDULING WHEN DEPLOYING APPLICATIONS USING THE KUBERNETES ENVIRONMENT

Khadorik.M.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Egorova N.G. – Ph.D. in Engineering, Associate Professor

Annotation. A method is given for applying discrete mathematics algorithms to solve the problem of route planning and microservice deployment sequences in distributed Kubernetes-based systems. The main focus is on topological sort ing as a way to establish the order in which services are launched, taking into account their dependencies. By modeling dependencies in the form of a DAG.

Keywords. Microservices, topological sorting, distributed systems.

УДК 004.852

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЕ ГИПЕРПАРАМЕТРОВ НА КАЧЕСТВО ОБУЧЕНИЯ МНОГОСЛОЙНОГО ПЕРСЕПТРОНА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОЭЛЕМЕНТНОГО ГРАДИЕНТНОГО СПУСКА

Михалко А.Н., студент гр.453503, Филон Д.А., студент гр. 453502

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Рыкова О.В. – канд. физ.-мат. наук, доцент

Аннотация. В данной работе проведен анализ различных функций активации и функций ошибок в отношении эффективности обучения нейронной сети на основе многослойного персептрона с малым количеством эпох при прочих равных гиперпараметрах.

Ключевые слова. Персептрон, матрицы, функции активации, функции ошибки.

Введение. Двадцать первый век стал веком нейронных, все чаще они используются как в информационных технология, так и в повседневной и все больше и больше заинтересовывают юное поколение изучать темы с ними связанными. Данная работа создана помочь, всем кто хочет эффективно обучать нейросети с учетом ограниченных вычислительных ресурсов, чтобы достичь максимального эффекта в обучении нейросетей.

Основная часть

Гиперпараметры — это настраиваемые параметры алгоритмов машинного обучения, которые задаются до начала процесса обучения и остаются неизменными в ходе этого процесса. В отличие от параметров модели, которые обучаются на данных (например, веса нейронов в нейронных сетях), гиперпараметры контролируют сам процесс обучения и структуру модели.

Многослойный персептрон (MLP, Multilayer Perceptron) — это искусственная нейронная сеть прямого распространения, состоящая из трех или более слоев (входной, скрытые и выходной слои), которая способна решать нелинейные задачи.

Рассмотрим, как происходит процесс обучения персептрона на примере, состоящем из одного входного слоя, двух скрытых слоев и слоя выхода. Для удобного отображения значения элементов слоя, весов и сдвигов будет использовать транспонированные матрицы. На первый слой подается матрица $[x_1^1, x_2^1, \dots, x_n^1]$из нормализированных чисел ($0 \le x_i^1 \le 1$), где нижний коэффициент $1 \le i \le n$ означает номер элемента в слое, а верхний – номер слоя. Затем высчитывается значения элементов для второго скрытого слоя $\left[x_1^2, x_2^2, \dots, x_k^2\right]$, второй слой состоит из k элементов, получая значения в следствии операции умножения матрицы первого слоя $[x_1^1, x_2^1, \dots, x_n^1]$ и матрицы весов $\begin{bmatrix} w_{11}^1 & \cdots & w_{1k}^1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{n1}^1 & \cdots & w_{nk}^1 \end{bmatrix}$. Далее к результату прибавляется матрица сдвигов $\left[b_1^1, b_2^1, \dots, b_k^1\right]$. В результате получается матрица размером $1 \times k$, со значениями нейронов второго слоя. Затем дабы избежать линейности нашей функции, необходимо к каждому элементу второго слоя применить функцию активации в качестве нее может выступать:

$$Sigmoidf(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (1)$$

$$ReLUf(x) = max(0, x) \quad (2)$$

Применив ко второму слою функцию активации F(x) мы получаем матрицу $\left[x_1^2, x_2^2, \dots, x_k^2\right]$, которая содержит элементы второго слоя. Аналогично можно найти значения элементов двух оставшихся слоев.

В общем виде операция нахождения следующего слоя $x^{r+1} = \left[x_1^{r+1}, x_2^{r+1}, \dots, x_l^{r+1}\right]$ по предыдущему $x^r = \left[x_1^r, x_2^r, \dots, x_q^r\right]$, с помощью матрицы весов $w^r = \begin{bmatrix} w_{11}^r & \cdots & w_{1l}^r \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{q1}^r & \cdots & w_{ql}^r \end{bmatrix}$ и матрицы сдвигов $b^r = [b_1^r, b_2^r, \dots, b_l^r]$, может быть представлена следующим образом:

$$x^{r+1} = F(x^r * w^r + b^r)\text{ , где } x^r * w^r + b^r = t^r.$$

Получив матрицу $[x_1^4, x_2^4, \dots, x_l^4]$ нашего примера, показывающую прогноз сети, начинается вычисление ошибки данного предсказания. Для этого используется матрица] в задачах на классификацию одного объекта, состоящая из всех единиц и одного нуля, характеризующая верный ответ, а также функция для расчета ошибки $E(x)$, например:

$$E(x) = (y - \mathcal{y})^2$$
(3)

$$E(x) = |y - \mathcal{y}|$$
(4)

Теперь, зная значения функции ошибки, можно вычислить как необходимо изменить веса и сдвиги сети, находя значения градиента ошибки по смещению, и градиента ошибки по сдвигу, и обновляя их значения:

$$w_{new} = w_{old} - \frac{\alpha * \partial E}{\partial w}$$
(5)

$$b_{new} = b_{old} - \frac{\alpha * \partial E}{\partial b}$$
(6)

где коэффициент α, отвечающий за скорость обучения.

Для нахождения градиентов ошибки по весу и смещению используется правила дифференцирование сложной функции. Зная градиент ошибки по каждому элементу слоя, можно посчитать градиент ошибки по весу и сдвигу для элементов матриц, из которых мы получили элементы данного слоя, а также необходимо найти градиент ошибки каждого элемента предыдущего слоя, чтобы после этого повторить операцию. Например, в нашем случае необходимо искать градиент ошибки второго и третьего слоя, зная градиент четвертого. Теперь покажем в общем виде алгоритм нахождения градиентов. Пусть известна матрица градиентов ошибки по элементам слоя

$$x^{r+1} = \left[x_1^{r+1}, x_2^{r+1}, \dots, x_l^{r+1}\right]$$
(7)

а именно:

$$\frac{\partial E}{\partial x^{r+1}} = \left[\frac{\partial E}{\partial x_1^{r+1}}, \frac{\partial E}{\partial x_2^{r+1}}, \dots, \frac{\delta E}{\delta x_l^{r+1}}\right]$$
(8)

зная градиенты можно посчитать матрицу градиентов по ошибке так как:

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ij}^r} = \frac{\frac{\partial E}{\partial x_j^{r+1}} * \partial x_i^{r+1}}{\partial t_j^{r+1}} * \partial t_i^{r+1} = \frac{\partial E}{\partial x_j^{r+1}} * F'\left(t_j^{r+1}\right) * x_i^r$$
(9)

в общем виде для матриц:

$$\frac{\partial E}{\partial x^{r+1}} = \left[\frac{\partial E}{\partial x_1^{r+1}}, \frac{\partial E}{\partial x_2^{r+1}}, \dots, \frac{\delta E}{\delta x_l^{r+1}}\right]$$
(10)

$$F'(t^{r+1}) = \left[F'(t_1^{r+1}), F'(t_2^{r+1}), \dots, F'\left(t_l^{r+1}\right)\right] \quad (11)$$

Получаем

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ij}^r} = \frac{\partial E}{\partial x^{r+1}} \odot F'(t^{r+1}) * (x^r)^T \quad (12)$$

Таким же образом находится градиент ошибки по сдвигу:

$$\frac{\partial E}{\partial b_{ij}^r} = \frac{\partial E}{\partial x^{r+1}} \odot F'(t^{r+1}) \quad (13)$$

Для нахождения градиента ошибки по элементам предыдущего слоя $\frac{\partial E}{\partial x^r} = \left[\frac{\partial E}{\partial x_1^r}, \frac{\partial E}{\partial x_2^r}, \dots, \frac{\delta E}{\delta x_l^r}\right]$:

$$\frac{\partial E}{\partial x_i^r} = \frac{\frac{\partial E}{\partial t_1^{r+1}} * \partial E}{\partial x_1^r} + \frac{\frac{\partial E}{\partial t_2^{r+1}} * \partial E}{\partial x_2^r}, \dots, \frac{\frac{\delta E}{\delta t_l^{r+1}} * \partial E}{\partial x_l^r} \quad (14)$$

в общем виде:

$$\frac{\partial E}{\partial x^r} = \frac{\partial E}{\partial x^{r+1}} \odot F'(t^{r+1}) * (w^r)^T \quad (15)$$

Метод градиентного спуска, представленный выше, называется поэлементным градиентным спуском. Поэлементный градиентный спуск – это градиентный спуск, где модель обновляет веса отдельно для каждого выхода на одном примере: сначала корректирует параметры по первому выходу, затем по второму и так далее. Такой подход обеспечивает точечную подстройку под каждую компоненту ошибки.

Для корректной проверки результатов были сгенерированы 16 матриц весов и 16 матриц сдвигов соответственно, в каждом обучении использовалось 5000 изображений, переведённых в матрицу 1×784 и 100 изображений для проверки корректности результата обучения персептрона, обучение проходило в течении 2 эпох, если не указаны другие данные. Сеть состояла из двух скрытых слоев, причем первый слой был размера 1×128, второй 1×64, коэффициент обучения стандартно был принят за $\alpha = 0.05$, однако в процессе исследования менялся в некоторых случаях. Причиной стала неработоспособность некоторых функций активации и функций ошибки при больших значениях шага. По той же причине в процессе исследования менялся диапазон входных значений для функции посредствам умножения на константу сгенерированных ранее значений весов.

Рассмотрим подробнее выбор альфа-коэффициента. Даже для современных нейронных сетей, часто производится наугад. Наиболее эффективным методом является наблюдение за тем, как изменяется ошибка с каждой итерацией, и если наблюдается расхождение, значит, альфа-коэффициент слишком велик и его следует уменьшить. Если обучение происходит слишком медленно, значит, альфа-коэффициент слишком мал и его следует увеличить[2]. В связи с этим как начальный коэффициент для обучения персептрона был выбран коэффициент 0.05.

При проверке результат обучения персептрона на выборке из 100 изображений происходит приведения результат работы персептрона к виду, что сумма элементов выходного слоя равна единице и каждый элемент находится в пределах от 0 до 1 посредством использования функции softmax

$$\sigma(x)_i = \frac{e^{z_i}}{\sum_{j=1}^{K} e^{z_j}} \quad (16)$$

где $z = [z_1, \dots, z_K]$ – выходной слой, причем был использован метод оценки Margin-based evaluation, который для матрицы предсказаний $[x_1^l, x_2^l, \dots, x_n^l]$ и ответа по x_kбудет выглядеть следующим образом:

$$Margin(x^l) = [x_r = max(x_1^l, x_2^l, \dots, x_n^l), \text{где} r \neq k]x_k - x_r$$
(17)

Исследование влияние метода импульса на качество обучения персептрона. Стандартный метод градиентного спуска итеративно обновляет параметры следующим образом:

$$\theta_{new} = \theta_{old} - \alpha * \nabla E$$
(18)

где в качестве θ может выступать веса или сдвиги. Таким образом в ходе обучения общий вид изменения θ выглядит следующим образом на i-ой итерации:

$$\theta_{i+1} = \theta_i - \alpha * \nabla E_i - \alpha * \nabla E_{i-1} - \dots - \alpha * \nabla E_0$$
(19)

Импульсный вектор в свою очередь подразумевает следующий вид изменения параметра веса или сдвига:

$$\theta_{i+1} = \theta_i - \alpha * \nabla E_i - \alpha * \beta * \nabla E_{i-1} - \dots - \alpha * \beta^i * \nabla E_0) = \theta_i - \alpha * \sum_{j=0}^{i} \beta^i * \nabla E_{i-j}$$
(20)

По мере выполнения итераций для уменьшения влияния градиента и предотвращения расхождения суммы градиентов добавляется коэффициент $\beta \epsilon (0,1)$. Согласно определению, метод импульса – это обобщённая форма градиентного спуска. Фактически, градиентный спуск можно рассматривать как частный случай метода импульса, где $\beta = 0$. Чем ближе β к 1, тем больше он отражает предыдущие градиенты, и наоборот, чем ближе он к 0.

Метод градиентного спуска обновляет параметры в направлении наискорейшего текущего градиента и, таким образом, является алгоритм жадного типа. Метод импульса смягчает эту “жадность”, позволяя делать выбор, который может быть не лучшим в краткосрочной перспективе, но более выгодным в долгосрочной. Он также помогает предотвратить резкие и чрезмерные изменения направления градиента.

Очевидно, что, поскольку величина градиента, используемого для обновления параметров, больше по сравнению со стандартным методом градиентного спуска, метод с импульсом обладает преимуществом более быстрой сходимости. Также известно, что он более эффективно позволяет избежать локальных минимумов, подобно тому, как мяч, катящийся вниз по склону, может преодолеть небольшие неровности, если у него достаточно скорости[1].

Также была обучена сеть на одинаковых начальных значениях матрицы весов и сдвигов с коэффициентом $\beta = 0$ (классический градиентный спуск) и $\beta = 0.9$, результаты с использованием метод оценки Margin-based evaluation представлен на графике(рисунок 1), в котором столбцы красного цвета отражают значение функции оценки для $\beta = 0$, с синие - $\beta = 0.9$, для определенного набора весов. Что демонстрирует эффективность метода импульсов (рисунок 1). Можно заметить, что метод импульса дает немного худший результат в среднем по наборам. Это связано с тем, что сети обучались на малом наборе данных. На ранних эпохах метод импульса дает худшие результаты, по той причине, что его природа имеет накопительный эффект, соответственно импульс на малом наборе данных является «случайным» и вносит слабый и скорее отрицательный вклад в процесс обучения сети.

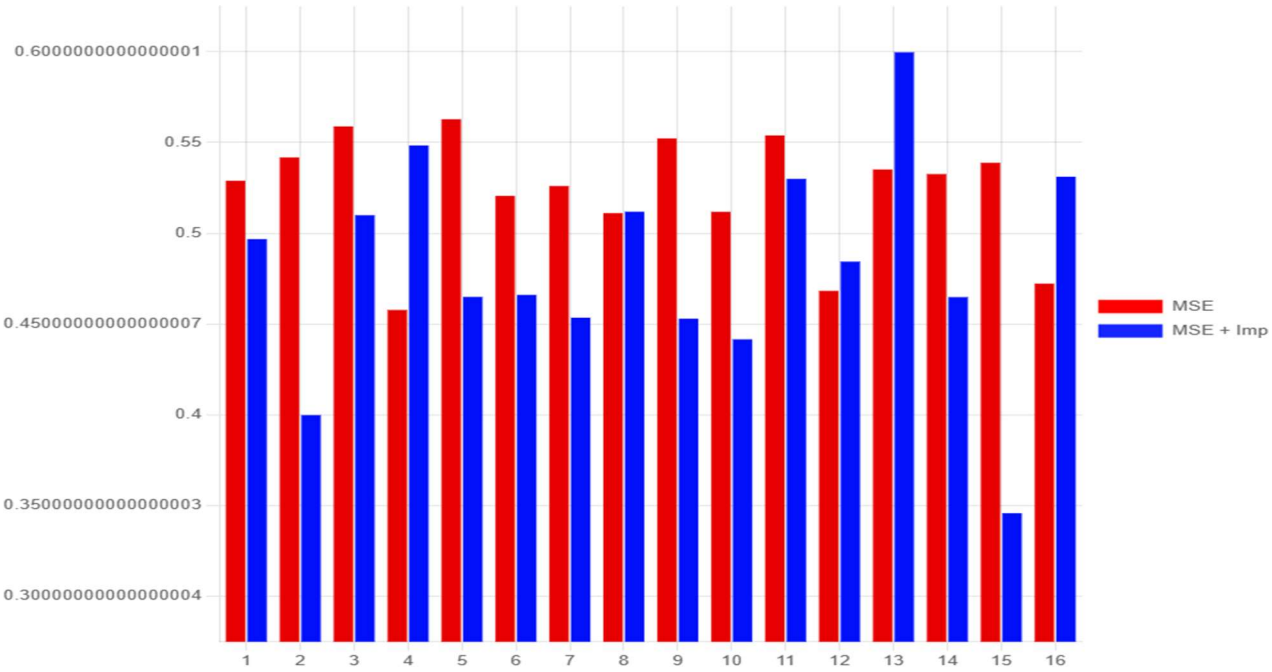


Рисунок 1 – График сравнения обучения с использованием метода импульса и без него

Также были исследованы влияние следующих функций ошибок на качество обучения: среднеквадратичные функции ошибки $(MeanSquaredError)$и$(RootMeanSquaredError)$:

$$E(x,y) = \frac{1}{2} * \sum_{i=1}^{n} (x_i - y_i)^2 \quad (21)$$

$$E(x,y) = \sqrt{\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^{n} (x_i - y_i)^2} \quad (22)$$

категориальная кросс-энтропия (Categorical Cross-Entropy):

$$H(x,y) = -\sum_{i=1}^{10} x_i * log(y_i) \quad (23)$$

где x – вектор выхода, а y – вектор, состоящий из всех единиц и одного нуля, характеризующая верный ответ.

Также были исследованы часто используемые функции активации

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (24)$$

$$f(x) = max(0, x) \quad (25)$$

Затем были исследованы их попарные комбинации ReLU и MSE, Сигмоида и Categorical Cross-Entropy и т. д.

Сперва были изучены комбинации функции сигмоида и трех функций ошибок, причем все начальные веса были увеличены в 10 для достижения большой нелинейности (рисунок 2). Лучший результат был получен с использованием функции MSE, а наихудший с использованием функции RMSE (рисунок 2).

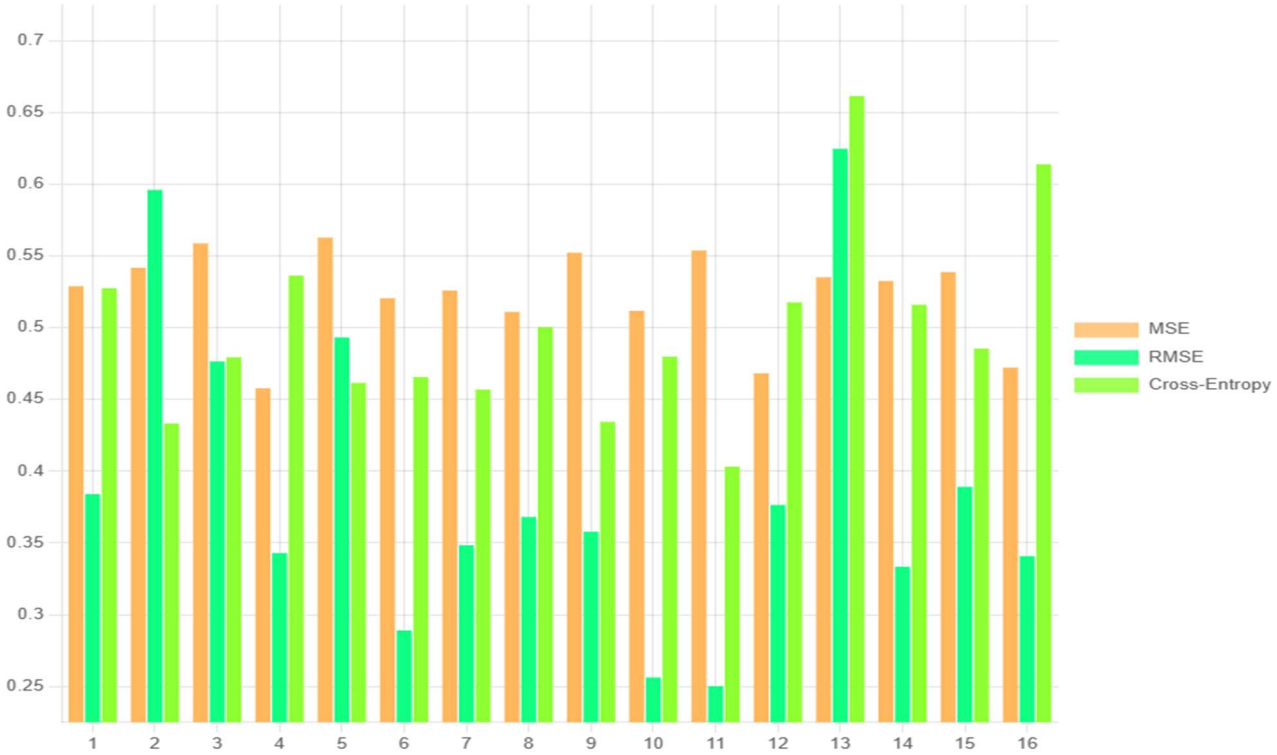


Рисунок 2 – График сравнения функции сигмоида и функций ошибки

Затем был представлен результат использования комбинации ReLU и функций ошибки, причем для того, чтобы получить в конечном итоге после обучения вектор предсказания у которого каждый элемент будет в диапазоне от 0 до 1, высчитывалась сумма элементов вектора и делилась на каждый элемент вектора. Лучший результат был получен с использованием функции MSE а наихудший с использованием функции RMSE (рисунок 3).

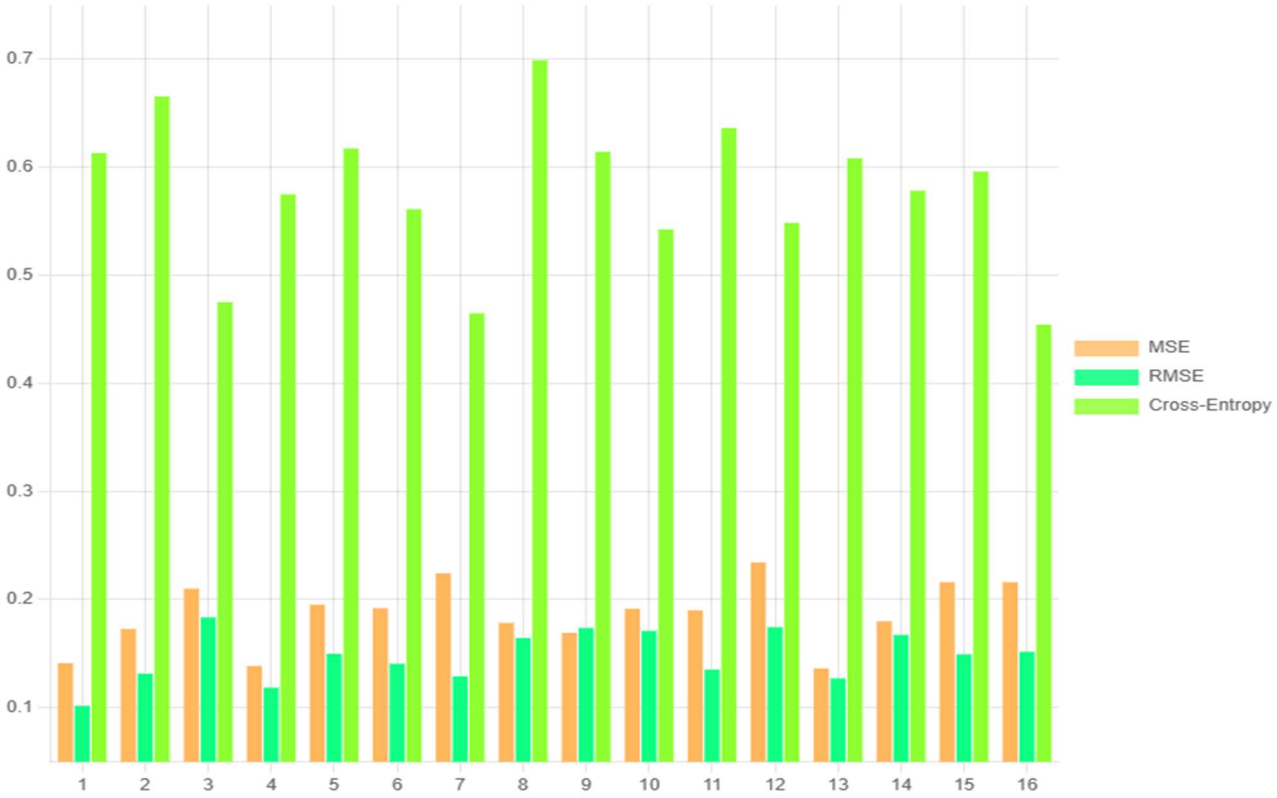


Рисунок 3 – График сравнения функции ReLU и функций ошибки

После чего нами были выбраны следующие функции активации для исследования их эффективности в обучении:

$$f_1(x) = \frac{arctg(x) + \frac{\pi}{2}}{\pi} \quad (26)$$

на всей области определения и

$$f_2(x) = \sqrt{\frac{x}{e^{arctg(0.1)*x}} + 1} \quad (27)$$

при $x \in$ и

$$f_3(x) = \frac{-1}{x - 1} \quad (28)$$

при $x \in (-\infty; 0)$. (рисунки 4, 5).Причем так как коэффициент $\alpha = 0.05$ показал себя неэффективным так как функция “перепрыгивает” локальный минимум, по этой причине был выбран коэффициент $\alpha = 0.005$.

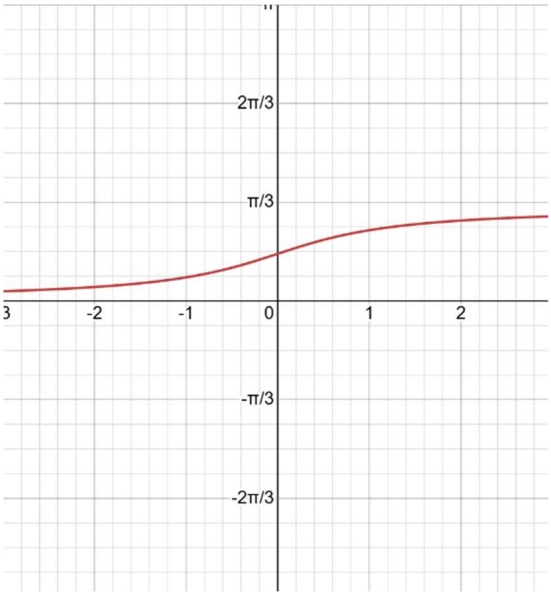


Рисунок 4 – График функции $f_1(x)$

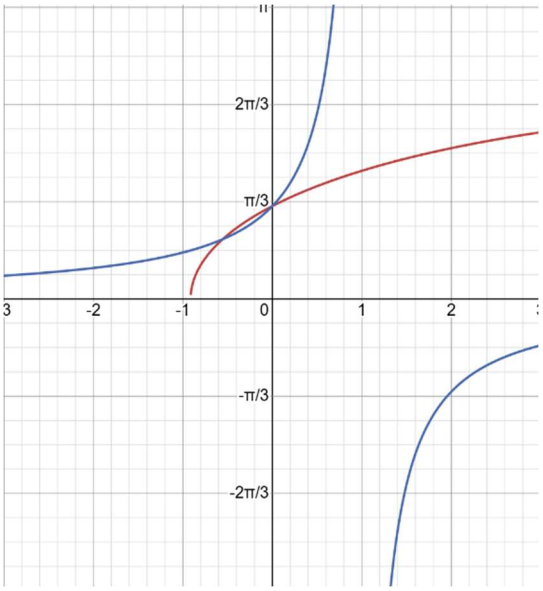


Рисунок 5 – График функции $f_2(x)$и$f_3(x)$

Результат обучения персептрона с использованием комбинации функции активации

$$f_1(x) = \frac{arctg(x) + \frac{\pi}{2}}{\pi} \quad (29)$$

и функций ошибок MSE, RMSE, Categorical Cross-Entropy, причем начальные веса вновь были увеличены в 10 раз (рисунок 6)

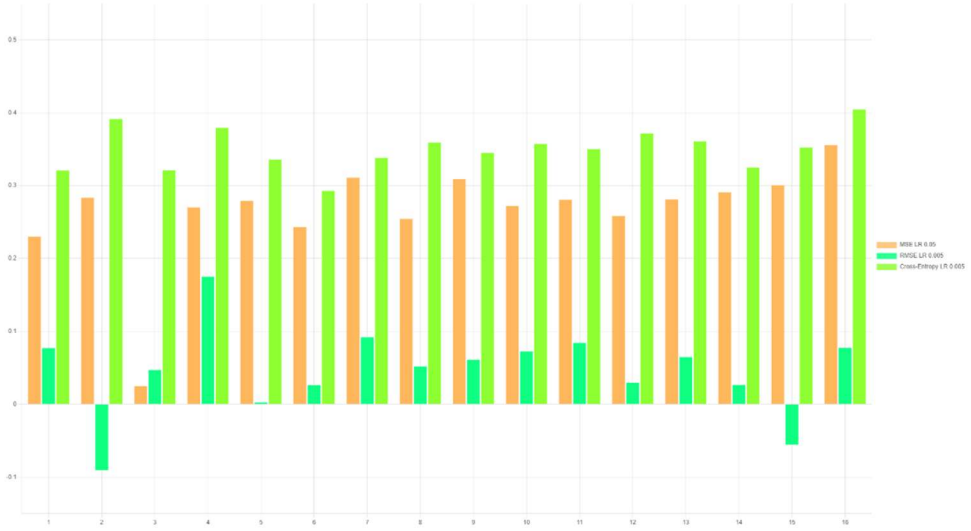


Рисунок 6 – График сравнения функции $f_1(x)$ и функций ошибки

Лучший результат был получен с использованием функции Categorical Cross-Entropy, а наихудший с использованием функции RMSE.

Затем был получен результат обучения персептрона с использованием функций активации

$$f_2(x) = \sqrt{\frac{x}{e^{arctg(0.1)*x}} + 1} \quad (30)$$

при $x \in$ и

$$f_3(x) = \frac{-1}{x-1} \quad (31)$$

при $x \in (-\infty; 0)$(рисунок 7).

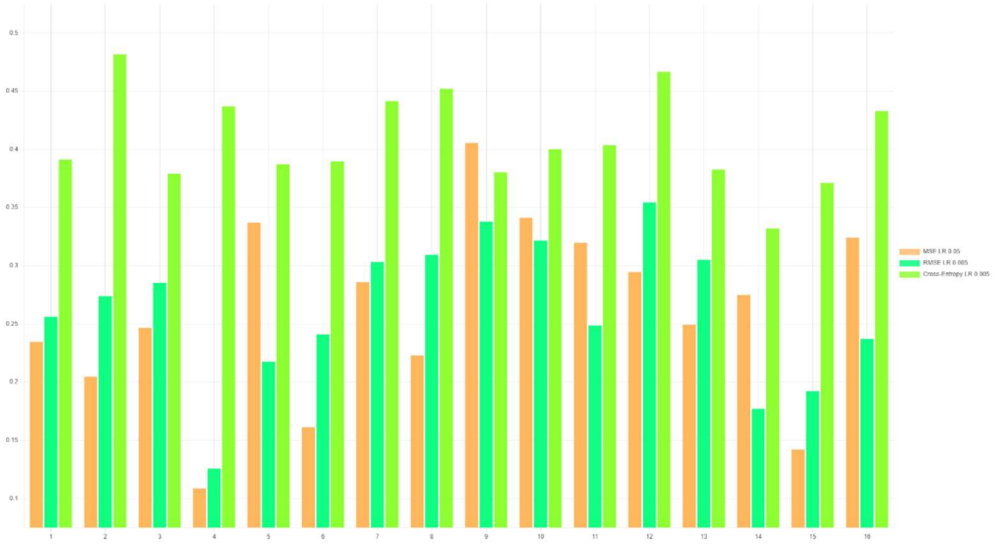


Рисунок 7 – График сравнения функции $f_{23}(x)$ и функций ошибки

Лучший результат был получен с использованием функции Categorical Cross-Entropy, а наихудший с использованием функции MSE. Затем была составлена диаграмма лучших комбинаций функций активации и функций ошибок, а именно Sigmoida и RMSE; ReLU и MSE; $f_1(x)$, $f_{23}(x)$ и Categorical Cross-Entropy. Лучший результат показала функция ReLU и MSE (рисунок 8).

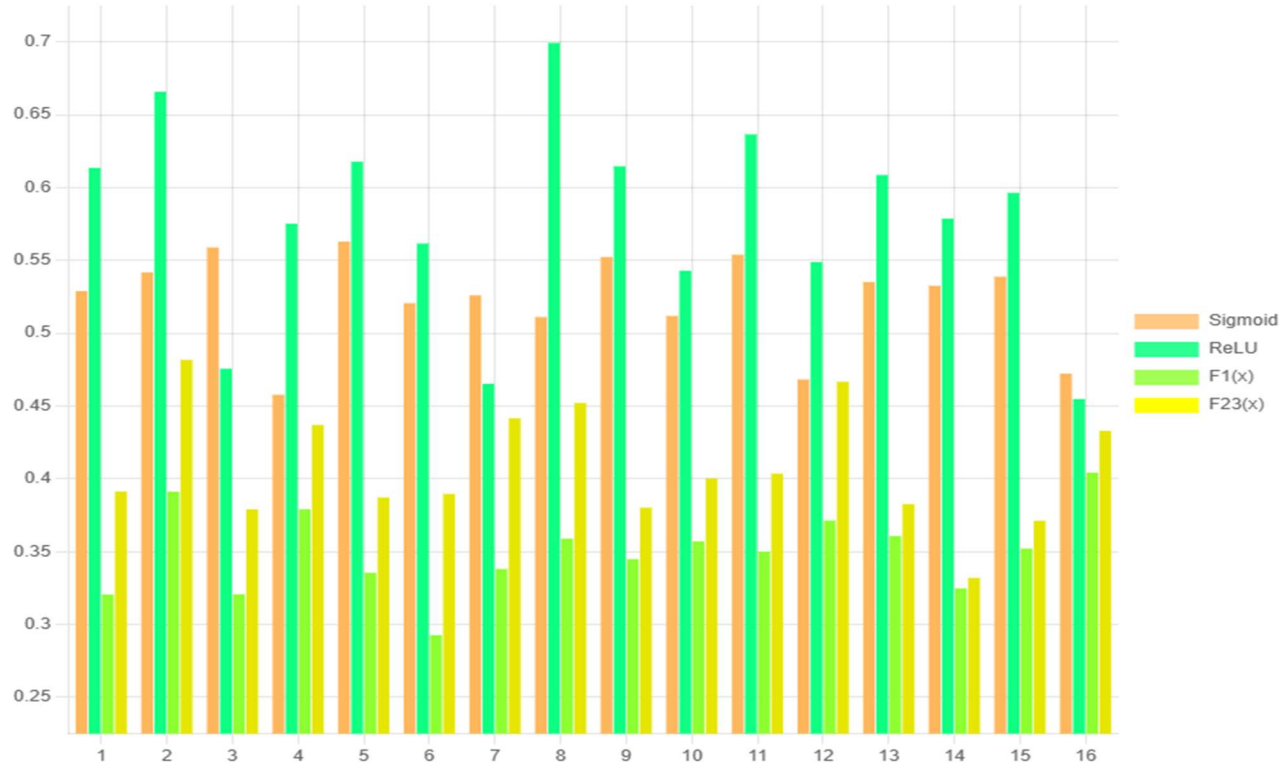


Рисунок 8 – Лучшие комбинации функций активации и функций ошибки

Далее был рассмотрен метод импульса в отношении всех приведенных выше функций. Обучение показало худшею сходимость при использовании метода импульса. Однако некоторые функции активации оказались несовместимы с методом импульса вовсе. На это повлиял следующий фактор: функции активации для применения с импульсом не должны иметь разрывов в производной и должны быть ограничены в своих значениях, например, как сигмоида. Это обусловлено тем что в случае с разрывной функцией резкое изменение градиента функции вызывает резкое изменение градиента, а импульс, из-за своего накопительного эффекта усилит этот скачек, что может привести к взрыву градиентов. В случае же с неограниченной функцией импульс может вызвать ситуацию, при которой градиент растет экспоненциально, в случае если функция сделала несколько шагов в сторону увеличения, для неограниченных функций это приведет к взрыву градиентов.

Заключение. В результате исследования влияния гиперпараметров персептрона был изучено положительное влияние метода импульсов на качество обучение, также были рассмотрены все возможные комбинации приведенных функций активации и ошибки с целью найти наилучшую комбинацию, а именно ReLU и MSE, исследовано несколько функций активации, выведенных эмпирически, а также было исследовано влияние на обучение коэффициент обучения α, для исследованной архитектуры персептрона наилучший результат показала комбинация функции активации ReLU, функции ошибки Cross-Entropy.

Список использованных источников:

1. Хабр [Электронный ресурс]: Методы оптимизации в машинном и глубоком обучении. От простого к сложному. – Режим доступа: https://habr.com/ru/articles/813221/. – Дата доступа: 12.04.2025.

2. Skypro [Электронный ресурс] : Обучение нейронных сетей с обратным распространением ошибки. – Режим доступа: https://sky.pro/wiki/python/obuchenie-nejronnyh-setej-s-obratnym-rasprostraneniem-oshibki/. – Дата доступа: 05.04.2025

3. Грокаем глубокое обучение [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://publ.lib.ru/ARCHIVES/B/"Biblioteka_programmista"_(seriya)/%D2%F0%E0%F1%EA%20%DD._%20%C3%F0%EE%EA%E0%E5%EC%20%E3%EB%F3%E1%EE%EA%EE%E5%20%EE%E1%F3%F7%E5%ED%E8%E5.(2020).pdf. – Дата доступа: 15.04.2025

UDC 004.852

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF HYPERPARAMETERS ON THE LEARNING QUALITY OF A MULTILAYER PERCEPTRON USING ELEMENT-WISE GRADIENT DESCENT

Mikhalko A.N., Filon D.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Rykova O. V. – PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor

Annotation. In this paper, we analyze various activation functions and error functions in relation to the effectiveness of training a neural network based on a multilayer perceptron with a small number of epochs, all other things being equal, hyperparameters.

Keywords. Perceptron, matrices, activation functions, error functions.

УДК 004.021

ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАЧИСЛЕНИЯ В УЧРЕЖДЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ПРИ РАБОТЕ С БОЛЬШИМИ ДАННЫМИ НА ПРИМЕРЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПОДАЧИ ЗАЯВЛЕНИЙ И ЗАЧИСЛЕНИЯ БГУИР

Владымцев В.Д., магистрант, Могилевец Д.Э., студент 353505

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Казак Т.В. – д-р психол. наук, профессор

Аннотация. Эффективный и точный алгоритм подачи заявлений и зачисления абитуриентов является одним из важнейших факторов для проведения успешной вступительной кампании. Целью работы являлась разработка эффективного алгоритм формирования списков абитуриентов, зачисленных на специальности, в зависимости от их желаний и имеющихся у них преимуществ.

Ключевые слова: АСПЗиЗ, обработка больших данных, анализ эффективности, алгоритм Гэйла-Шепли.

Введение. В современном информационном обществе, охваченном вихрём технологических инноваций, процесс зачисления абитуриентов в вузы становится всё более сложным и объемным. Все больше образовательных учреждений стремятся использовать передовые методы обработки данных для оптимизации этого процесса. Одним из главных вызовов в сфере автоматизации процесса поступления и зачисления является эффективное управление большими данными, которые основываются на информации о кандидатах, при котором обязано обеспечиваться честность и прозрачность в принятии решений при зачислении абитуриентов.

Рассмотрим автоматизированную систему подачи заявлений и зачисления БГУИР в соответствии с правилами и порядком приёма в учреждения высшего образования утверждёнными в 2025 году. Каждый из факультетов БГУИР подразделяется на несколько специальностей. Для каждой из специальностей определяется количество бюджетных и платных мест обучения для студентов в следующем учебном году. Данное количество определяется обеспеченностью университета кадрами, количеством аудиторий, имеющимися денежными средствами, распоряжениями министерства образования и т. п. [1].

Анализ существующего алгоритма зачисления. Каждый из абитуриентов, желающих поступить в БГУИР предоставляет перечень необходимых документов в приёмную комиссию, среди них наиболее интересными с точки зрения исследования: заявление на имя руководителя УВО по установленной Министерством образования форме, оригинал аттестата об общем среднем образовании, либо оригиналы диплома о профессионально-техническом образовании и приложения к нему, либо оригиналы диплома о среднем специальном образовании и приложения к нему; оригиналы сертификатов централизованного тестирования; оригиналы сертификатов централизованного экзамена; характеристика, выданная учреждением общего среднего образования; документы, подтверждающие право абитуриента на льготы. В заявлении абитуриента помимо прочего содержится ранжированный список желаемых специальностей [2]. На данный момент имеет место следующая процедура зачисления студентов:

Первыми без вступительных испытаний в порядке перечисления зачисляются абитуриенты согласно 23 пункту Правил приема (категория 1). Затем на места, оставшиеся после зачисления абитуриентов на основании 23 пункта Правил приема, вне конкурса при наличии в документе об образовании отметок не ниже 6 (шести) баллов по предметам вступительных испытаний зачисляются абитуриенты, поступающие на основании льгот, перечисленных в 26 пункте Правил приема (категория 2). На места, оставшиеся после зачисления абитуриентов на основании 23 и 26 пунктов Правил приема, абитуриенты зачисляются по конкурсу на основе общей суммы баллов (категория 3).

Зачисление абитуриентов, участвующих в конкурсе для получения высшего образования по группе специальностей с использованием автоматизированной системы подачи заявлений и зачисления, осуществляется согласно конкурсному списку абитуриентов, сформированному в пределах группы специальностей в порядке убывания набранной абитуриентами общей суммы баллов с последующим учетом порядкового номера факультета и специальности в перечне, указанном абитуриентом в заявлении.

Автоматизированная система подачи заявлений и зачисления начинает зачисление третьей категории с абитуриента с максимальным количеством набранных баллов. Проверяет наличие

свободных мест для зачисления по первой записи в заявлении данного абитуриента. В случае если место есть – зачисляет на соответствующую специальность и факультет, иначе – переходит к следующей. И так последовательно проверяются все записи в заявлении абитуриента до тех пор, пока абитуриент не будет зачислен или не закончатся записи в его заявлении.

Если список записей исчерпан, а абитуриент не зачислен, то он попадает в промежуточный список не зачисленных. После обработки заявлений всех проранжированных абитуриентов может возникнуть две ситуации: первая – все специальности заполнены, вторая - остались вакантные места на некоторых из них. В первом случае абитуриенты из списка не зачисленных считаются не прошедшими конкурсный отбор. Во втором случае абитуриенты из списка не зачисленных снова ранжируются по сумме набранных баллов и с большими баллами зачисляются на вакантные места незаполненных специальностей решением приемной комиссии [3].

Наибольший интерес с точки зрения алгоритмической оценки представляет третья категория. Согласно приведённому выше тексту, существующий сейчас алгоритм зачисления можно представить в виде следующей блок схемы (рисунок 1):

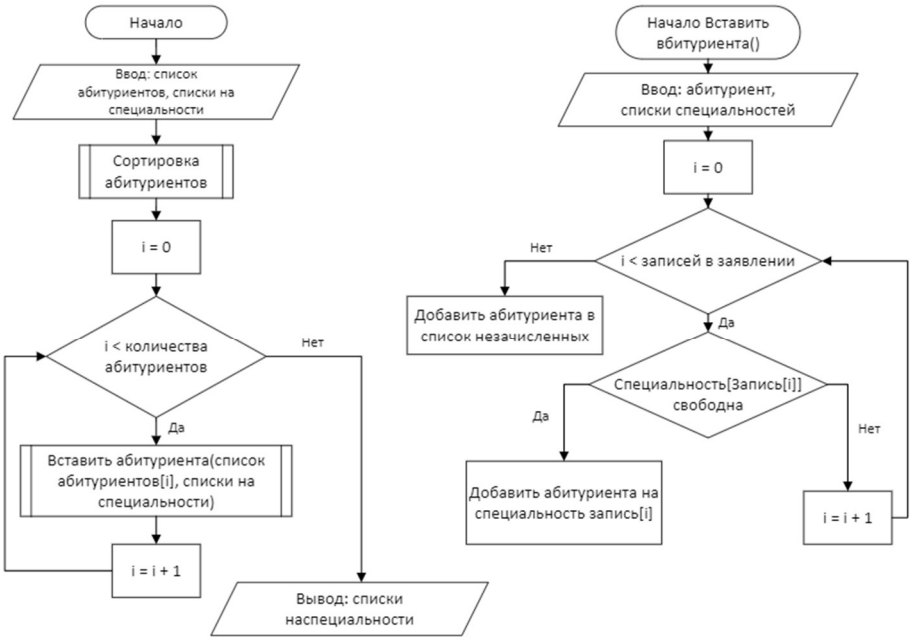


Рисунок 1 – Схема существующего алгоритма зачисления

Обозначая количество специальностей за S, количество абитуриентов, подавших заявление за A, а сложность сравнения двух абитуриентов друг с другом за C имеем. Сложность сортировки всех абитуриентов – $O(CAlog(A))$ ($O(C)$ – сложность одного сравнения, $O(Alog(A))$ – необходимое число сравнений), сложность функции вставки абитуриента в среднем – $O(S)$ (среднее количество записей в заявлении, при условии равновероятного выбора любого количества, это $\frac{S}{2}$). Тогда общая сложность алгоритма – $O(SA + CAlog(A))$.

Квадратичная сложность алгоритма, отсутствие инкрементальной обработки, ресурсоёмкость операций, латентность принятия решений, ограниченная масштабируемость и отсутствие распределённой обработки не позволяют масштабировать АСПЗиЗ на другие ВУЗы в качестве общереспубликанской системы подачи заявления и зачисления абитуриентов.

Также заметим, что данный алгоритм в представленной форме не работает “в онлайне”, то есть при добавлении новых абитуриентов в количестве ΔA необходимо поводить алгоритм с начала полностью и сложность добавления составит $O(S(A + \Delta A) + C(A + \Delta A)log(A + \Delta A))$. Также, стоит отметить, что в приведённом выше описании не указано ничего о спорных ситуациях и о способах сообщения о них системой. Также, в нём ничего не указано о различиях в правилах зачисления для отдельных специальностей (в смысле льгот и поступления без вступительных испытаний).

Изначальный алгоритм не подходит для Big Data из-за высокой сложности, отсутствия онлайн-обработки, негибкости в отношении правил и спорных ситуаций, а также низкой масштабируемости [4]. Для эффективной работы с Big Data требуется алгоритм с линейной или близкой к линейной сложности, способностью к инкрементальной обработке и гибким правилам. Для решения проблемы был разработан алгоритм, основанный на модификации алгоритма Гэйла-Шепли.

Анализ предлагаемого алгоритма. Рассмотрим следующий возможный вариант алгоритма зачисления, который был внедрён в АСПЗиЗ БГУИР в 2024 году:

1. составить произвольный список абитуриентов.
2. первый из ещё не зачисленных абитуриентов идёт на первую желаемую специальность.
3. если он “лучше” последнего человека в списке на специальность, то он сравнивается со следующим.
4. повторяем шаг 3, пока абитуриент не окажется “хуже”, чем некоторый из абитуриентов в списке на специальность. отметим рассматриваемого абитуриента “зачисленным”
5. если длина списка больше квоты на специальность, то рассмотрим последних абитуриентов в списке, если среди них есть равные, выведем сообщение о необходимости выбора, кого оставить. иначе просто уберём из списка последнего, отметив, что он не может поступить на эту специальность.
6. убранного абитуриента отметим не зачисленным.
7. если абитуриент “хуже” последнего человека на первой желаемой специальности, то перейдём к следующей желаемой.
8. если желаемые специальности закончились, отметим рассматриваемого абитуриента как “не поступившего”
9. перейдём к следующему абитуриенту, если он есть.
10. повторим процесс сначала для не зачисленных абитуриентов, если они есть.

В данном контексте слова “лучше” и “хуже” означают сравнение в смысле набранных на экзаменах баллов, льгот, среднего балла аттестата и т.п.

Для оптимизации работы и ускорения процесса возможен отдельный запуск алгоритма по отфильтрованным группам «Вне конкурса», «Без экзаменов» и «По конкурсу». Процесс можно представить в виде следующей блок схемы (рисунок 2).

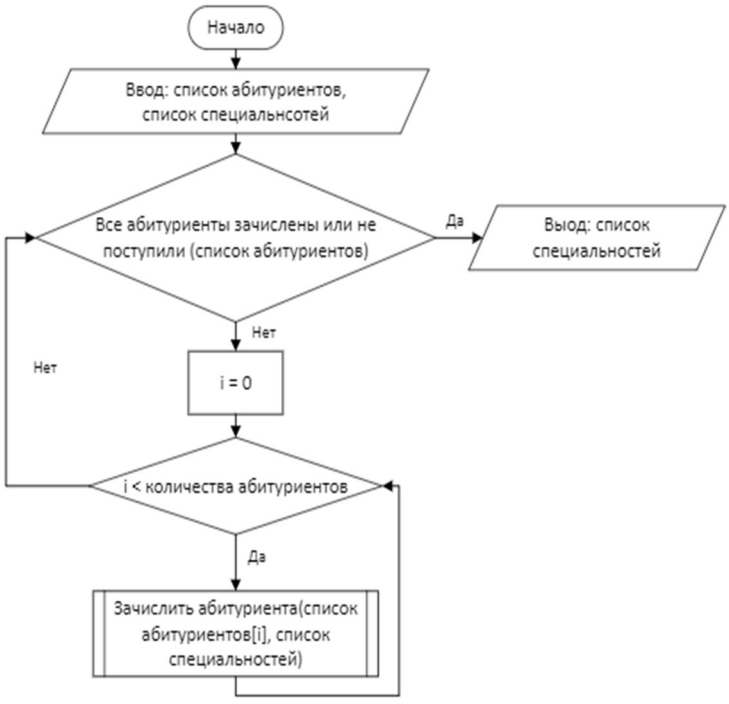


Рисунок 2 – Блок-схема предлагаемого алгоритма

Обозначая максимальную квоту на специальность среди всех за M имеем. Средняя сложность функции зачисления нового абитуриента составляет $O(S + CM)$, поскольку, в сущности, она проходит по всем желаемым абитуриентом специальностям и для одной и только одной делает M действий сравнения и M действий для вставки абитуриента. Поскольку $S \ll M$ (количество специальностей в университете значительно меньше, чем средняя максимальная квота), то конечная сложность алгоритма зачисления одного абитуриента: $O(CM)$. Для упрощения понимания работы функцию следуют рассмотреть следующую блок схему (рисунок 3).

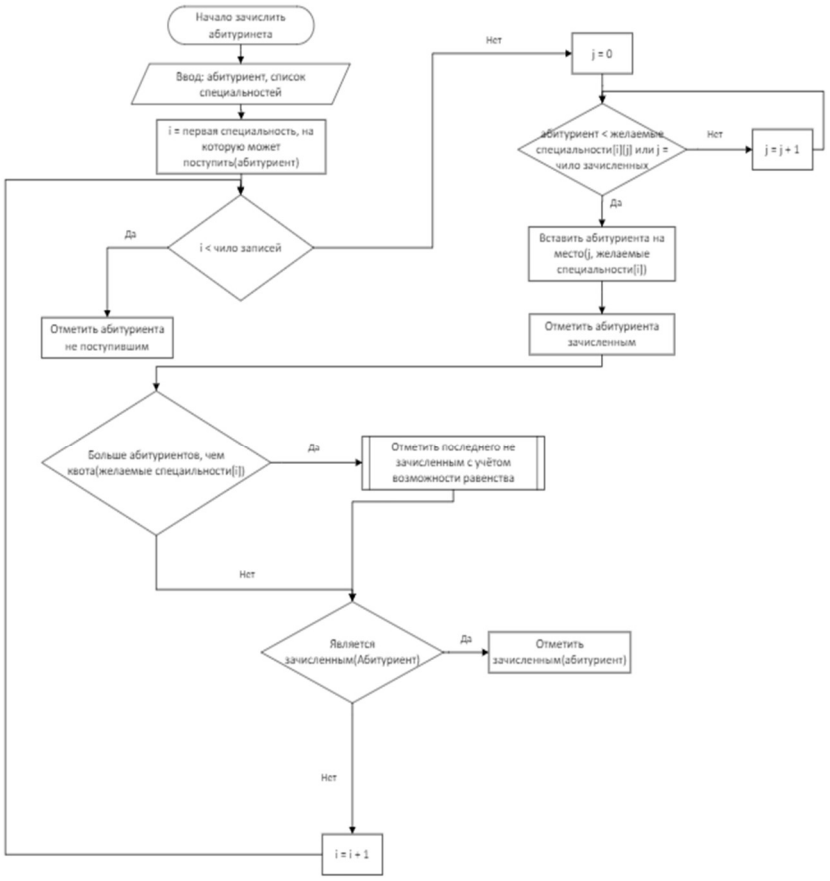


Рисунок 3 – Блок-схема функции, используемой в предлагаемом алгоритме

Сложность внутреннего цикла основного алгоритма составляет $O(ACM)$, поскольку для каждого из A абитуриентов функция его зачисления вызывается всего один раз. Заметим, что потребуется не более чем S проходов цикла, чтобы все абитуриенты были помечены либо как зачисленные, либо как не поступившие. Тогда сложность алгоритма зачисления – $O(ASCM)$. Преимуществами данного алгоритма являются линейная сложность от числа абитуриентов и возможность эффективной работы “в онлайне”. Действительно, если заявление подали ещё ΔA абитуриентов, то достаточно просто провести процедуру алгоритма с имеющимися списками зачисленных. Тогда сложность добавления группы абитуриентов размером ΔA составит $O(\Delta ASCM)$. Также, в алгоритме учтена возможность равенства нескольких абитуриентов. Также, стоит отметить, что алгоритм даёт возможность учесть различия в правилах приёма на разных специальностях, для этого достаточно просто изменить функцию сравнения двух абитуриентов для конкретной специальности и использовать её при попытке зачислить нового абитуриента на данную специальность.

Важным недостатком стоит считать большое значение константы от числа абитуриентов – SCM.

Можно заметить некоторую аналогию с алгоритмом Гэйла-Шепли формирования устойчивого бракосочетания. Действительно, если рассматривать абитуриентов как “мужей”, а специальности как “жён”, то приведённый алгоритм действительно соответствует алгоритму Гейла-Шепли с добавления возможности “полиандрии”. Как известно, алгоритм Гэйла-Шепли гарантирует наилучшее устойчивое бракосочетание для женихов [5], что вполне согласуется с рациональным требованием того, что каждый из абитуриентов должен поступить на лучшую из специальностей, на которые может и хочет поступить. Т.е., более формально, если некоторый абитуриент X не поступил на все специальности, идущие ранее специальности A в его заявлении и некоторый абитуриент Y, оказавшийся “хуже” по результатам сравнения X и Y, поступил на специальность A, то и абитуриент X поступит на специальность A.

Как можно видеть из представленных выше блок-схем, алгоритм зачисления может быть усовершенствован или переделан полностью.

Заключение. В данной работе был рассмотрен существующий алгоритм зачисления абитуриентов в БГУИР. Была оценена его алгоритмическая сложность, возможность работы “в онлайне”, отношение к спорным ситуациям. Также был предложен и рассмотрен другой, более эффективный алгоритм зачисления абитуриентов, основанный на алгоритме Гэйла-Шепли. Предложенный усовершенствованный алгоритм не является сложным для пользователей автоматизированной системы подачи заявления и зачисления, а, следовательно, сохраняет принципы прозрачности при зачислении

абитуриентов в учреждения образования, используя в разы меньше ресурсов при работе и может быть быстро внедрён в автоматизированную систему подачи заявлений и зачисления.

Список использованных источников:

1. Автоматизированная система подачи заявлений и зачисления в рамках корпорации учреждений образования / М. П. Батура [и др.] // Высшее техническое образование: проблемы и пути развития : материалы VII Международной научно-методической конференции, Минск, 20-21 ноября 2014 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол.: Е. Н. Живицкая [и др.] – Минск, 2014. – С. 18 - 19.

2. Суровцев, А. И. Исследование пользовательского опыта при взаимодействии абитуриентов с электронным кабинетом автоматизированной системы подачи заявления и зачисления БГУИР = The study of user experience in the interaction of applicants with the electronic cabinet of the automated application and enrollment system of the BSUIR / А. И. Суровцев, В. Д. Владымцев // Компьютерные системы и сети : сборник статей 60-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 22–26 апреля 2024 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2024. – С. 524–527.

3. Развитие единого информационного пространства приемной кампании Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники / Никульшин Б. В. [и др.] // Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века: материалы XI Международной научно-методической конференции, Минск, 12-13 декабря 2019 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. А. Прытков [и др.]. – Минск, 2019. – С. 219.

4. Альховик, Д. И. Big Data: проблемы и технологии / Д. И. Альховик, В. Д. Владымцев, А. Н. Марков // BIG DATA и анализ высокого уровня = BIG DATA and Advanced Analytics : сборник научных статей IX Международной научно-практической конференции, Минск, 17–18 мая 2023 г. : в 2 ч. Ч. 2 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск, 2023. – С. 201-204.

5. Гейл, Д. Поступление в колледж и стабильность брака / Д. Гейл, Л. Шепли // The American Mathematical Monthly. – 1962. – Т. 69, № 1. – С. 9-15.

UDC 004.021

OPTIMIZATION OF ENROLLMENT IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS WHEN WORKING WITH BIG DATA USING THE EXAMPLE OF THE AUTOMATED APPLICATION AND ENROLLMENT SYSTEM OF BSUIR

Vladymtsev V.D., Mahiliavets D.E.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Kazak T.V. – Dr. of Sci. (Psy.), Professor

Abstract. An effective and accurate algorithm for applying and enrolling applicants is one of the most important factors for a successful admission campaign. The aim of the work was to develop an effective algorithm for the formation of lists of applicants enrolled in the specialty, depending on their desires and the advantages they have.

Keyword: Automatization, big data processing, efficiency analysis, Gale-Shapley algorithm.

РЕАЛИЗАЦИЯ GRAPHREADER-АГЕНТА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ RAG С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ NEO4J, LANGCHAIN И LANGGRAPH

Кулевич А. О.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Батура М. П. – д-р техн. наук, профессор

В статье описывается реализация и использование GraphReader-агента, который решает проблемы стандартных методов RAG, такие как извлечение нерелевантных данных и потеря контекста. Используя графовую структуру данных, GraphReader улучшает точность поиска и обеспечивает более глубокий контекст для сложных задач. Описание включает процесс разработки, внедрения и тестирования агента, который использует Neo4j для хранения данных и LangChain с LangGraph для логики работы.

Современные модели машинного обучения, такие как LLM (**Large Language Models**), могут обрабатывать большие объемы информации и генерировать осмысленные ответы, но качество поиска и актуальность данных остаются ключевыми проблемами. Технология **Retrieval-Augmented Generation** (RAG) [1] решает эту проблему, сочетая генерацию ответов с извлечением информации из внешних источников. Однако стандартные методы RAG могут извлекать нерелевантные данные, терять контекст и не учитывать семантические связи.

GraphReader-агент [2] решает эти проблемы, используя графовую структуру для представления данных. Графовые базы данных, такие как Neo4j, устанавливают связи между объектами, создавая более точную модель знаний с семантическими путями. GraphReader комбинирует графовые базы с языковыми моделями, что позволяет точно извлекать информацию и учитывать взаимосвязи между данными, обеспечивая более глубокий контекст для сложных задач. Этот граф отличается от классических сетевых и ближе к документному или лексическому.

В данной работе GraphReader агент реализован, используя Neo4j для хранения и структурирования данных и LangChain в сочетании с LangGraph для определения агента и его логики. Для демонстрации работы агента использовались статьи с сайта Medium [3].

Для начала данные были загружены в графовую БД Neo4j. Они представляются в виде документов, которые разбиваются на более мелкие фрагменты — chunks. Эти фрагменты затем анализируются для выделения атомарных фактов (atomic facts), которые являются ключевыми единицами знаний. Для улучшения поиска и контекстуального понимания выделяются ключевые элементы (keyelements), представляющие наиболее значимые концепции. Общее представление полученной базы данных представлено на рисунке 1.

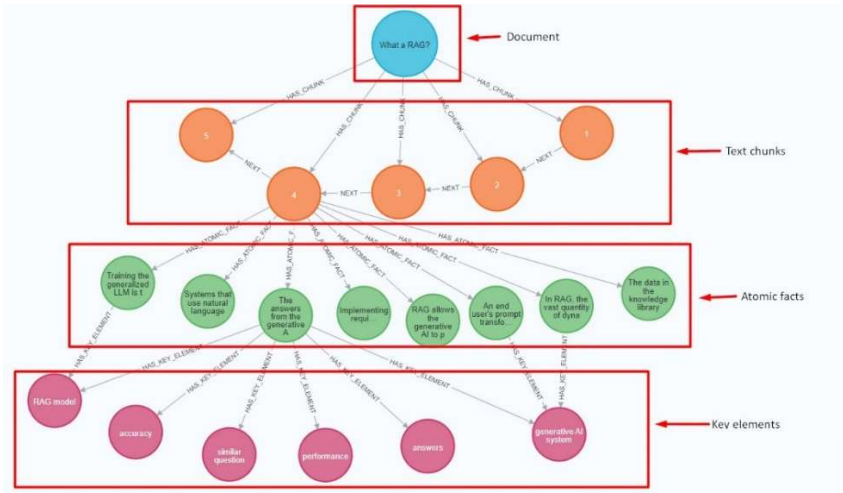


Рисунок 1 – Общее представление полученной графовой базы данных

Вместо линейной структуры хранения данных (как в традиционных RAG-подходах) создается семантический граф, в котором chunks, atomic facts и keyelements соединяются между собой. Это позволяет LLM находить взаимосвязи между частями информации. При запросе пользователя GraphReader-агент выполняет графовый поиск, анализируя связи между keyelements, документами и фактами, чтобы извлекать наиболее релевантные данные. Затем полученные результаты передаются модели, которая использует их для генерации более точного и контекстуально обоснованного ответа. Структура работы полученного агента представлена на рисунке 2.

```
langgraph = StateGraph(OverallState, input=InputState, output=OutputState)
langgraph.add_node(rational_plan_node)
langgraph.add_node(initial_node_selection)
langgraph.add_node(atomic_fact_check)
langgraph.add_node(chunk_check)
langgraph.add_node(answer_reasoning)
langgraph.add_node(neighbor_select)

langgraph.add_edge(START, "rational_plan_node")
langgraph.add_edge("rational_plan_node", "initial_node_selection")
langgraph.add_edge("initial_node_selection", "atomic_fact_check")
langgraph.add_conditional_edges(
    "atomic_fact_check",
    atomic_fact_condition,
)
langgraph.add_conditional_edges(
    "chunk_check",
    chunk_condition,
)
langgraph.add_conditional_edges(
    "neighbor_select",
    neighbor_condition,
)
langgraph.add_edge("answer_reasoning", END)

langgraph = langgraph.compile()
```

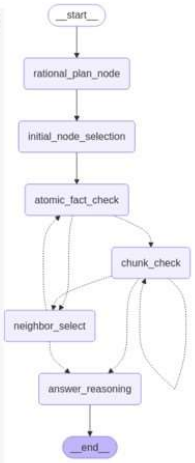


Рисунок 2 – Структура работы GraphReader-агента

На рисунке 3 представлены результаты работы полученного GraphReader-агента в ответ на запрос, выполненный с использованием LangGraph. Запрос был сформулирован следующим образом: "What is RAG?". Процесс поиска и ответа можно разделить на несколько этапов, каждый из которых представлен в логах выполнения.

```
langgraph.invoke({"question":"What is RAG?"})
```

```
--------------------
Step: rational_plan
Rational plan: To answer the question "What is RAG?", we need to identify the definition and context in which RAG is used. This
involves:

1. Determining if RAG is an acronym and what it stands for.
2. Understanding the context or field in which RAG is applied (e.g., technology, business, etc.).
3. Gathering any relevant details or examples that illustrate the use or significance of RAG.

Let's proceed with these steps to provide a comprehensive answer.
--------------------
Step: atomic_fact_check
Reading atomic facts about: ['Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks', 'Retrieval-Augmented Generatio
n', 'unstructured data', 'enterprise data sources', 'advanced cloud-based AI services']
Rational for next action after atomic check: The atomic facts provide a good overview of what RAG is, its purpose, and its chal
lenges. However, to ensure a comprehensive understanding, it would be beneficial to read the text chunks associated with these
atomic facts. This will provide more detailed information and context about RAG, its applications, and its significance in the
field of generative AI.
Chosen action: {'function_name': 'read_chunk', 'arguments': [['19734dd10ceb44f0d8863c8a9e6e6227', 'e8be25e339967d367b3b8eb66e1d
36ab', 'd5a06a641d630c30ab5c9040ecf5f0e3', '1c0b928f63172baccb5ed9608ad983e5', 'e3ec3ce5bbf478375edd25deaa992462']]}
--------------------
Step: read chunk(e3ec3ce5bbf478375edd25deaa992462)
Rational for next action after reading chunks: The current chunk provides additional details about RAG, such as the types of da
ta it can incorporate and its ability to cite references. This information complements the existing notes and provides a compre
hensive understanding of RAG. Therefore, the information gathered is sufficient to answer the question comprehensively.
Chosen action: {'function_name': 'termination', 'arguments': []}
--------------------
Step: Answer Reasoning

{'answer': 'RAG stands for Retrieval-Augmented Generation, a technique in generative AI that enhances the output of a large lan
guage model by integrating specific information without altering the model itself, introduced in a 2020 paper by Patrick Lewis
and others at Facebook AI Research.',
 'analysis': 'The notebook provides a comprehensive explanation of what RAG is. It stands for Retrieval-Augmented Generation, a
technique in generative AI that enhances the output of a large language model by integrating specific information without alter
ing the model itself. This method was introduced in a 2020 paper by Patrick Lewis and others at Facebook AI Research. RAG is de
signed to deliver timely, accurate, and contextually relevant responses by embedding enterprise data into a knowledge repositor
y, converting it into vectors, and storing it in a vector database for retrieval. This approach can yield more precise results
compared to using a generative LLM alone. However, it faces challenges in modeling both structured and unstructured data within
the knowledge library and vector database. RAG can draw from various data sources, including relational databases, document rep
ositories, internet streams, and more, and it can cite references for the data it retrieves, enabling error correction if neces
sary.',
```

Рисунок 3 – Результаты выполнения запросов к полученному GraphReader-агенту

На первом шаге агент формирует рациональный план для ответа, определяя, что нужно понять, что такое RAG, что это за аббревиатура и в каком контексте она используется. Далее агент проверяет атомарные факты, связанные с RAG, такие как "Retrieval-Augmented Generation", "unstructured data", "enterprise data sources" и другие. Эти факты дают общее представление о технологии, но для глубокого понимания требуется дополнительное чтение текстовых фрагментов.

Агент выбирает несколько фрагментов данных для более детального анализа, извлекая дополнительные сведения и контекст для точного ответа. В конце агент формулирует ответ, объясняя, что RAG (Retrieval-Augmented Generation) — это технология, улучшая работу языковой модели, интегрируя информацию из внешних источников, без изменения самой модели.

В ходе работы был разработан GraphReader-агент, использующий Neo4j, что значительно улучшило качество Retrieval-Augmented Generation (RAG). Учет связей между сущностями повысил релевантность данных, а структурированное представление знаний обеспечило более точные ответы. Такой подход оптимизирует поиск и делает систему более гибкой, приближая ее к документному графу.

Список использованных источников:

1. What is Retrieval-Augmented Generation? [Electronic resource] // Amazon Web Services. – Mode of access: https://aws.amazon.com/what-is/retrieval-augmented-generation/?nc1=h_ls. – Date of access: 30.03.2025.

2. GraphReader: Building Graph-based Agent to Enhance Long-Context Abilities of Large Language Models [Electronic resource] // arXiv. – Mode of access: https://arxiv.org/pdf/2406.14550v1. – Date of access: 30.03.2025.

3. Medium [Electronic resource]. – Mode of access: https://medium.com. – Date of access: 30.03.2025.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФНФ КОЛЬЦЕВОГО ОСЦИЛЛЯТОРА КАК ИСТОЧНИКА СЛУЧАЙНОСТИ

Бурко Л.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Иванюк А.А. – д-р техн. наук, профессор

Данная работа описывает как физически неклонируемая функция (ФНФ) на базе кольцевого осциллятора (КО) может быть источником случайных чисел, а также манипуляции с дискретным нормальным распределением для выявления зависимостей между характеристиками распределения, и оценки некоторых параметров. Использовалась библиотека numpy языка Python.

Одним из способом получения как случайных чисел, так и уникального идентификатора является реализация физически неклонируемой функции на базе кольцевого осциллятора (ФНФ КО) [1]. Одно из достоинств этого метода – простота реализуемой схемы, рисунок 1. Идея данного метода уже была описана в предыдущем исследовании [2]. Каждый ФНФ КО, расположенный в различных местах ПЛИС, генерирует сигнал с уникальной частотой (периодом). В качестве количественной меры используется число тактовых сигналов, регистрируемых счетчиком в фиксированном временном окне. R_i – значение двоичного счетчика в *i*-ом измерении. При переводе значений R_i в бинарный вид, где $i \in [0, m-1]$, m – количество проведенных измерений, предполагается разделение между стабильной (сигнал) и нестабильной (шум) частями. Наша задача – оценить предполагаемые границы шума (на рисунке 1 – биты *n*) и найти зависимости между характеристиками собранных с ФНФ КО данных.

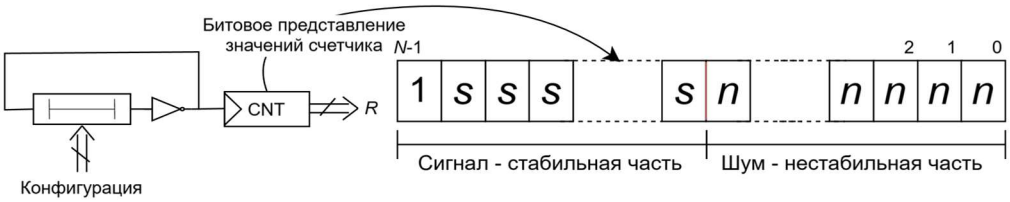


Рисунок 1 – Схема ФНФ КО и получаемые значения

Пусть $M_{фнф} = \{R_0, R_1, R_2, ..., R_{m-1}\}$, опытным путем было выяснено, что при переводе значений R_i в бинарный вид, каждый разряд $R_i^j \in \{0,1\}, j \in [0, N-1]$, где $N = \lceil \log_2(\max(M_{фнф})) \rceil$, будет иметь определенную вероятность искажения p_j на наборе из m элементов:

$$p_j = \max\{p_{j0}, p_{j1}\}, \quad (1)$$

где $p_{j0} = \frac{1}{m}\sum_{i=0}^{m-1} R_i^j$, $p_{j1} = 1 - p_{j0}$.

Как было установлено экспериментальным путем, значения R_i представляют собой статистические шаблоны. R_i^j можно условно поделить на три группы $A(p_j = 1)$, $B(0,5 + \varepsilon < p_j < 1)$, где $\varepsilon < 0,01$, и $C(p_j = 0,5 + \varepsilon)$, размерами соответственно a, b, c, где $a + b + c = N$, $R_i = [A_i, B_i, C_i]$. По мажоритарному принципу группу B можно привести к группе A.

Была выдвинута гипотеза, что при достаточно больших m множество $M_{фнф}$ будет образовывать дискретное нормальное распределение. Для подтверждения данной гипотезы была построена программная математическая модель схемы ФНФ КО со счетчиком на базе библиотеки numpy языка Python, которая генерирует дискретную выборку $M_{мод}$ заданного размера с фиксированными значениями математического ожидания μ и дисперсии σ^2. При сравнении p_j между счетчиком и математической моделью, была получена погрешность $\gamma < 0,001$, что говорит о схожести полученных значений счетчика с нормальным распределением.

Была сформирована гипотеза об оценке размерности нестабильной группы C, которая основана на разнице значений min и max:

$$c_{теор_1} = \lceil \log_2(\max(M_{мод}) - \min(M_{мод})) \rceil. \quad (2)$$

Несмотря на сходство между теоретическими и эксперементальными p_j, $\max(M_{мод}) - \min(M_{мод}) < \max(M_{фнф}) - \min(M_{фнф})$, поэтому данная характеристика для значений ФНФ будет менее точной, чем на основании σ.

В теоретическом нормальном распределении 99,7% значений принадлежат диапазону $(-3\sigma; 3\sigma)$ [3]. Была выдвинута другая гипотеза, что шум можно оценить значением $c_{теор_2}$, основываясь на среднеквадратичном отклонении:

$$c_{теор_2} = \lceil \log_2(6\sigma) \rceil. \quad (3)$$

При проведении различных экспериментов с заданными μ и σ^2, было показано, что $c < c_{теор_2} < c_{теор_1}$.

Тем самым, можно оценить размер стабильной части значением $(a+b)_{теор}$. И, как следствие, количество бит $(a+b)_{теор}$ можно считать уникальным идентификатором, который длиннее, чем a:

$$a + b > (a+b)_{теор} = N - \lceil \log_2(6\sigma) \rceil > a. \quad (4)$$

Параметры μ и σ^2 влияют на размерности a, b, c. Для исследования границ группы $p_j = 0,5 + \varepsilon$, было взято $\mu' = 2^{K+1} + 2^K$, $1 < 3\sigma' < 2^{K-2}$, где $\mu', \sigma', K \in \mathbb{N}$. В таком случае, $p_{K-1} = 1$, $p_k = 0,5$, $k \in [0, K-2]$. Это объясняется симметричностью нормального распределения.

Для приведения группы $B_{мод}$ к сильно нестабильной части, необходимо $\mu_{мод} = [A_{мод}, B_{мод}, C_{мод}] \in \mathbb{N}$ преобразовать в значение $\mu^* = [A_{мод}, [10...0]_{b_{мод}}, [0...0]_{c_{мод}}] \in \mathbb{N}$. Для этого, от каждого $R_i \in M_{мод}$ необходимо вычесть $\Delta = \mu_{мод} - \mu^*$. Тем самым будут получены $b + c$ равномерно распределенных разрядов. Как показано на рисунке 2, слева – отображены значения p_{j1}, справа – p_j.

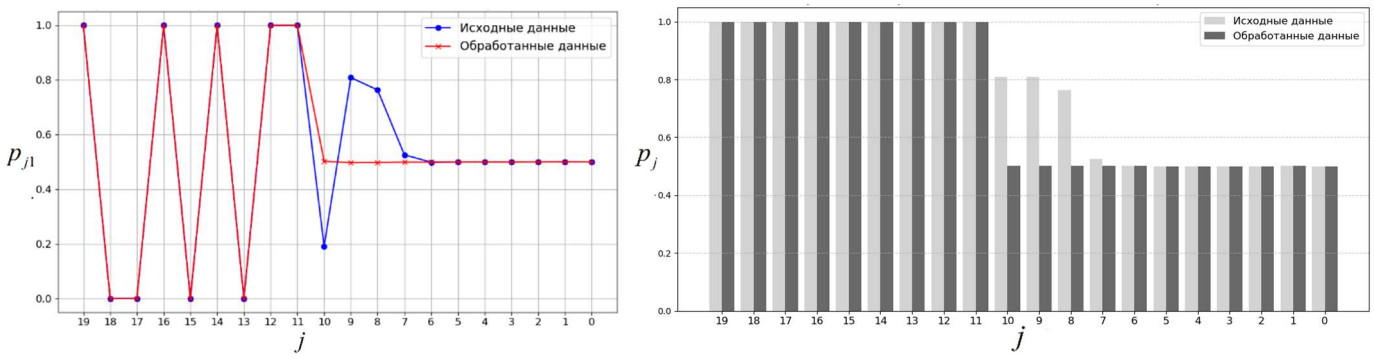


Рисунок 2 – Преобразование распределения

В результате, в зависимости от имеющейся задачи, можно получить как источник случайных чисел с $b + c$ равномерно распределенными каналами, так и уникальный идентификатор с длиной больше, чем полная стабильная группа A. Для обеспечения большей случайности к сильно нестабильной части можно применить различные алгоритмы и методы постобработки. Данное исследование показывает, что

природа ФНФ КО действительно случайна, и значения счетчика, изменяемые из-за случайных шумов во время работы КО, образуют нормальное распределение.

Список использованных источников:

1. Иванюк, А. А. Применение конфигурируемых генераторов импульсов для идентификации ПЛИС / А. А. Иванюк // Информатика.№4(32), 2011. – С. 113–123.

2. Бурко, Л. А. Исследование поведения кольцевого осциллятора / Л. А. Бурко, А. А. Иванюк // Информационные технологии и системы 2024 (ИТС 2024) = Information Technologies and Systems 2024 (ITS 2024) : материалы международной научной конференции, Минск, 20 ноября 2024 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол. : Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск, 2024. – С. 81–82.

3. Справочник по теории вероятностей и математической статистике / Королюк В. С. [и др.]. – Москва : Наука, 1985. – 640 с.

СЖАТИЕ АУДИОФАЙЛОВ БЕЗ ПОТЕРЬ С ПОМОЩЬЮ КОМБИНАЦИИ МЕТОДОВ КОМПРЕССИИ БАЙТОВЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

Ануфриев Д.И., Максименков В.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Калугина М.А. – канд. физ.-мат. наук, доцент

В докладе приведены результаты исследования возможности дополнительного уменьшения объёма аудиофайлов, упакованных разными программными аудиокодеками, с помощью алгоритмов сжатия байтовых последовательностей без потерь (алгоритмы LZ77 и Хаффмана). Оценка эффективности разработанного алгоритма производится с помощью сравнения значений коэффициента сжатия файла.

Современные технологии хранения и передачи аудиоданных предъявляют высокие требования к эффективности методов сжатия, направленных на минимизацию объема информации при сохранении исходного качества. Особую значимость в данном контексте приобретают алгоритмы сжатия без потерь (lossless compression), обеспечивающие возможность полного восстановления первичных данных после процедуры декодирования.

Актуальность исследования обусловлена существенными объемами, занимаемыми аудиофайлами высокого качества, особенно в несжатых форматах (WAV) или при использовании специализированных lossless-кодеков (FLAC). Хотя современные аудиокодеки демонстрируют значительную степень компрессии [1], они не всегда в полной мере учитывают структурные особенности музыкальных композиций. В частности, большинство музыкальных произведений содержат повторяющиеся фрагменты (например, припевные секции или повторяющиеся мелодические паттерны), которые потенциально могут быть подвергнуты более эффективному сжатию. Поэтому представляется перспективным направление исследования возможности применения специализированных алгоритмов сжатия, учитывающих циклическую природу музыкальных данных. Подобные алгоритмы, оптимизированные для выявления и компактного представления повторяющихся последовательностей, могут обеспечить дополнительное уменьшение объема хранимой информации без ухудшения качества звучания. Данный подход, кроме того, открывает новые возможности для оптимизации процессов хранения и передачи аудиоконтента в профессиональной и потребительской сферах.

Сжатие без потерь происходит за счет представления данных в более коротком формате. Это позволяет сократить количество битов, необходимых для хранения или передачи данных, гарантируя при этом, что исходные данные могут быть полностью восстановлены [2]. Поэтому целью исследования стал сравнительный анализ результатов использования классических методов сжатия информации (алгоритмы LZ77 и Хаффмана) над аудиофайлами разных форматов (.wav, .mp3, .flac и тому подобные).

Алгоритм LZ77 [3] назван по инициалам своих авторов и году публикации, что заложило традицию именования словарных методов сжатия (алгоритмы LZ-группы). Его работа основана на использовании скользящего окна фиксированного размера (N последних символов) в качестве динамического словаря. Каждый закодированный блок включает три параметра: смещение до начала совпадающей подстроки в словаре, длину этой подстроки и первый символ входного потока, следующий за совпадением [4].

Кодирование Хаффмана представляет собой базовый метод генерации кодов переменной длины, обеспечивающих минимальную среднюю длину кодовой последовательности. Данный алгоритм получил широкое распространение и лежит в основе множества приложений для компрессии текстовых и графических данных. В одних случаях он применяется непосредственно, в других – интегрируется как этап в комбинированные схемы сжатия, сочетающие несколько алгоритмов [5].

В рамках проведенного исследования была разработана программная реализация алгоритмов LZ77 и Хаффмана на языке C++, обеспечивающая пошаговое сжатие данных. На первом этапе данные обрабатываются алгоритмом LZ77, который заменяет повторяющиеся последовательности ссылками на предыдущие вхождения. Результат передается на вход алгоритму Хаффмана, строящему оптимальные префиксные коды для дальнейшего сжатия.

Для эксперимента были отобраны аудиозаписи в форматах WAV (несжатый), MP3, FLAC и Opus (сжатые с потерями и без). Каждый файл последовательно обрабатывался связкой LZ77 + Хаффман, после чего вычислялся коэффициент сжатия (отношение размера файла после сжатия к исходному). Тестирование проводилось на файлах с разной структурой: музыкальными композициями, записями с тишиной и короткими звуковыми фрагментами.

Ниже представлена таблица с результатами работы программы (таблица 1), последовательно сжимающей аудиофайлы алгоритмами LZ77 и Хаффмана.

Таблица 1 – Результат работы алгоритмов с разными видами данных

Аудиофайл	Изначальный размер файла, Кбайт	Размер файла после сжатия алгоритмом LZ77, Кбайт	Размер файла после сжатия алгоритмом Хаффмана, Кбайт	Коэффициент сжатия (размер после сжатия / размер до сжатия)
Файлы в формате mp3				
Audio1.mp3	6119.296	6094.407	6080.980	0.993738
Audio2.mp3	9674.624	9537.532	9526.253	0.984663
Audio3.mp3	7012.224	6878.023	6810.527	0.971236
Audio4.mp3	2713.610	2628.650	2620.357	0.965635
Audio5.mp3	8183.680	8180.181	8162.737	0.997441
Audio6.mp3	1815.931	1540.833	1538.546	0.847249
Audio7.mp3	8.507	4.458	4.841	0.569884
Audio8.mp3	364.004	236.184	235.641	0.647358
Audio9.mp3	261.234	134.656	133.759	0.512028
Файлы в формате opus				
Audio1.opus	3177.346	3177.233	3177.747	1.000126
Audio2.opus	5168.365	5164.476	5164.990	0.999346
Audio3.opus	3118.924	3083.450	3083.927	0.988779
Audio4.opus	4068.916	4068.818	4069.332	1.000102
Файлы в формате wav				
Audio1.wav	26975.486	26777.578	24336.842	0.902183
Audio2.wav	41886.828	41263.110	40419.607	0.964971
Audio3.wav	30618.392	30451.876	30155.543	0.984883
Audio4.wav	36075.356	36065.183	34851.260	0.966068
Файлы в формате flac				
Audio2.flac	29339.997	29337.100	29337.614	0.999918
Audio3.flac	17134.946	17126.685	17127.199	0.999547
Audio4.flac	25966.801	25958.112	25967.315	1.000019
Audio10.flac	21501.049	21492.102	21491.229	0.999543

На основе проведенного эксперимента были сделаны следующие выводы: на файлах большого объема эффективность данного подхода достаточно мала, однако для аудиофайлов, размер которых соизмерим с размером смещения и скользящего окна в алгоритме LZ77 (порядка 300 кБ), данный подход показал хорошие результаты (сжатие примерно в 2 раза). Это означает, что аудиокодек mp3, который в среднем сжимает в 10 раз, может быть улучшен до сжатия примерно в 20 раз. Выяснено, что с файлами большего объема проблема заключается в следующем: при увеличении размера окна до размера, соизмеримого с размером среднестатистической песни (мелодии), время работы данного алгоритма на доступном на сегодня аппаратном обеспечении превышает время проигрывания мелодии. Следовательно, не получится проигрывать данный файл в формате реального времени.

Проведённое исследование показало, что дополнительное сжатие аудиофайлов алгоритмами LZ77 и Хаффмана эффективно только для несжатых форматов (WAV) и небольших MP3-файлов с локальными повторами (тишина, монотонные участки) благодаря способности LZ77 работать с короткими паттернами при ограниченном размере окна (1023 байта). Однако стоит заметить, что в условиях неограниченного времени выполнения сжатия данный подход имеет место быть, так как он обеспечивает весомую дополнительную компрессию уже сжатого аудиофайла.

В качестве дополнительного исследования представляется перспективным разработать модификацию алгоритма LZ77, которая будет делать обратные ссылки не только на полностью совпадающие фрагменты последовательности байт, но и на части, незначительно отличающиеся друг от друга. Данный подход может обеспечить более эффективное сжатие аудиофайла, так как зачастую два коротких фрагмента мелодии, которые человек считает одинаковыми, могут немного различаться в закодированном виде.

Список использованных источников:

1. Muin, F. A. A review of lossless audio compression standards and algorithms / F. A. Muin, T. S. Gunawan, M. Kartiwi, M. A. Elsheikh // AIP Conference Proceedings, Vladivostok, 18–22 Sep. 2017. – AIP Publishing, 2017. – Т. 1883, № 1.

2. Unit 4 Lab 4: Data Representation and Compression, Page 6 [Electronic resource] // Beauty and Joy of Computing. – Mode of access: https://bjc.edc.org/bjc-r/cur/programming/4-internet/4-representation-compression/6-compression.html. – Date of access: 25.03.2025.

3. Ziv, J. A Universal Algorithms for Sequential Data Compression / J. Ziv, A. Lempel // IEEE Transactions on Information Theory. – 1977. – Т. 23, № 3. – С. 337–343.

4. Семенюк, В. В. Экономное кодирование дискретной информации : учеб. пособие / В. В. Семенюк. – СПб. : СПбГИТМО (ТУ), 2001. – 115 с.

5. Сэломон, Д. Сжатие данных, изображения и звука : учеб. пособие / Д. Сэломон. – Москва : Техносфера, 2004. – 368 с.

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ АРЕНДЫ РАБОЧИХ ПРОСТРАНСТВ

Абрамович П.Н.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Жвакина А.В. – канд. техн. наук, доцент

Представлено программное средство для автоматизации аренды коворкингов и других объектов. Оно предоставляет удобные инструменты для фильтрации, бронирования и управления арендой. Применены современные технологии .NET и архитектурные подходы Clean Architecture и Domain-Driven Design. Разработка ориентирована на арендаторов, арендодателей и бизнес.

Современный рынок краткосрочной аренды рабочих пространств, таких как коворкинги, студии и офисы, характеризуется фрагментированностью и ограниченным функционалом существующих решений. Большинство доступных сервисов, например DIKIDI, Realt, EasyWeek и Kovorkingi.by [1–4], решают лишь отдельные задачи – запись на услуги, аренду жилых помещений или размещение объявлений – не предлагая комплексного подхода. Это создаёт неудобства для пользователей, которым приходится переключаться между несколькими платформами.

Разрабатываемое программное средство призвано устранить указанные проблемы за счёт создания единой цифровой экосистемы для аренды. Его ключевые функции включают размещение объявлений, фильтрацию по параметрам (локация, цена, доступность), интерактивное бронирование с учётом загруженности объектов, ведение истории аренд, интеграцию с календарями и поддержкой push-уведомлений. Также предусмотрена система оценки и отзывов, способствующая формированию прозрачной и доверительной среды.

Важным элементом является модуль встроенного чата, который обеспечивает мгновенную коммуникацию между арендатором и арендодателем, ускоряя согласование условий сделки. Административный интерфейс даёт арендодателю возможность отслеживать статистику просмотров, управлять бронированиями, активировать платное продвижение объявлений и настраивать расписание.

Целевыми пользователями приложения являются три ключевые группы: (1) частные арендаторы, нуждающиеся во временном рабочем пространстве, (2) малый и средний бизнес, арендующий помещения под мероприятия и встречи, (3) собственники объектов, заинтересованные в эффективной монетизации своей недвижимости или сервисов. Система построена с учётом их различных сценариев взаимодействия.

Технически проект реализуется на основе архитектурных паттернов Domain-Driven Design и Clean Architecture, что обеспечивает масштабируемость, модульность и лёгкость сопровождения. Использование ASP.NET Core в качестве серверной платформы позволяет достичь высокой производительности и безопасности. В качестве клиентского решения применяется .NET MAUI — современный кроссплатформенный фреймворк, позволяющий разрабатывать мобильные и настольные приложения на базе единого исходного кода.

Для хранения данных применяется PostgreSQL, обеспечивающая надёжность, ACID-совместимость и возможность горизонтального масштабирования. Посредником между базой данных и приложением служит Entity Framework Core, что позволяет разработчикам использовать удобные механизмы миграции и отслеживания изменений моделей данных. Для обмена сообщениями и обработки событий используется SignalR, что обеспечивает реализацию real-time функциональности без задержек.

Таким образом, создаваемое программное средство не только решает актуальные задачи пользователей, но и опирается на современные технологии, обеспечивающие удобство, безопасность и высокую отказоустойчивость. Его внедрение может существенно изменить подход к аренде рабочих пространств, повысив прозрачность и доступность этой услуги.

Список использованных источников:

1. DIKIDI – сервис онлайн-записи клиентов. – Режим доступа: https://dikidi.net/ru. – Дата доступа: 09.04.2025.
2. Realt – аренда недвижимости. – Режим доступа: https://realt.by/. – Дата доступа: 09.04.2025.
3. EasyWeek – CRM и онлайн-запись. – Режим доступа: https://easyweek.ru. – Дата доступа: 09.04.2025.
4. Kovorkingi.by – каталог коворкингов. – Режим доступа: https://kovorkingi.ru. – Дата доступа: 09.04.2025.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАДАЧИ О НАИБОЛЬШЕМ 2-ДИССОЦИИРУЮЩЕМ МНОЖЕСТВЕ

Бердник Л. А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Дугинов О.И. – канд. физ.-мат. наук

Исследование рассматривает задачу нахождения наибольшего 2-диссоциирующего множества в неориентированном графе – подмножества вершин, порождающее подграф с максимальной степенью вершин не больше, чем 2. В работе изучаются структурные и алгоритмические аспекты задачи, формулируется ее содержательная, распознавательная и оптимизационная постановки, а также предлагается целочисленная линейная модель задачи. Особое внимание уделяется разработке и сравнительному анализу четырех эвристических алгоритмов: жадного, случайного, локального поиска и метода имитации отжига, которые тестируются на случайных графах Эрдеша–Реньи.

Постановка задачи. Приведем содержательную постановку рассматриваемой в работе задачи. Рассмотрим множество элементов (объектов, ресурсов, узлов), между которыми существуют определенные взаимосвязи. Некоторые пары таких элементов находятся во взаимодействии, зависящем от структуры системы (например, технические соединения, маршруты передачи данных, экономическая или логическая взаимозависимость). Эти связи можно представить в виде неориентированного графа, где вершины – элементы системы, а ребра – пары взаимодействующих элементов. Во многих прикладных задачах требуется выделить максимально возможную группу элементов, при этом ограничив число связей внутри этой группы: никакой элемент не должен взаимодействовать более чем с двумя другими внутри этой же группы. Такое ограничение позволяет формировать упорядоченные структуры: цепи, циклы и одиночные элементы, обеспечивая предсказуемое поведение, устойчивость к перегрузкам и ограничение распространения воздействия. Задача состоит в том, чтобы выбрать подмножество элементов максимального размера, в котором каждый элемент взаимодействует не более чем с двумя другими внутри выбранной группы. Это подмножество будет наибольшей по мощности группой с контролируемой внутренней связанностью, что находит применения в задачах анализа инвестиционного портфеля, в проектировании устойчивых коммуникационных сетей, маршрутизации, распределении нагрузки и других задачах, где требуется ограничить степень зависимости между включаемыми объектами.

Представим формулировку рассматриваемой задачи в теоретико-графовой терминологии. Пусть задан неориентированный граф $G = (V, E)$. В задаче требуется найти подмножество вершин $S \subseteq V$ максимальной мощности, такое что для любой вершины $v \in S$ выполнено условие:

$$\{u \in S \vee \{v, u\} \in E\} \vee\leq 2 \text{ или } deg_{G[S]}(v) \leq 2 \quad (1),$$

где $deg_{G[S]}(v)$–степень вершины v в подграфе, индуцированном множеством S.

Сформулируем задачу о наибольшем 2-диссоциирующем множестве в виде задачи распознавания. Условие: задан неориентированный граф $G = (V, E)$ и целое неотрицательное число $k \in N, 0 \leq k \leq\vee V \vee$.Вопрос: существует ли такое множество $S \subseteq V$, что $S \vee\geq k$ и индуцированный подграф $G[S]$ удовлетворяет условию: $\max\limits_{v \in S} deg_{G[s]}(v) \leq 2$?

Цель работы заключается в исследовании задачи нахождения максимального 2-диссоциирующего множества в графе, рассмотрении структурных и алгоритмических свойств 2-диссоциирующих множеств и разработке эвристических алгоритмов приближенного решения задачи и оценки их эффективности на случайных графах. Задача является NP-трудной и имеет прикладную значимость в телекоммуникациях, распределенных системах и особенно в финансовой аналитике – при формировании портфелей с ограниченной взаимной корреляцией активов. Необходимость в эффективных методах выявления крупных, слабо связанных подмножеств графа, пригодных для устойчивых сетевых или инвестиционных структур, делает исследование теоретически обоснованным и практически востребованным.

Целочисленная линейная модель задачи. Сформулируем задачу нахождения максимального 2-диссоциирующего множества в графе в виде задачи целочисленного линейного программирования. Пусть $G = (V, E)$ – неориентированный граф с множеством вершин $V = V(G)$ и множеством ребер $E = E(G)$. Множество вершин графа, смежных с вершиной $v \in V$, обозначим через $N_G(v)$. Множество вершин, состоящее из вершины v и вершин, смежных с ней, обозначим через $N_G[v]$. Обозначим через V_3 множество вершин графа G, степень которых не меньше, чем 3. Пусть $D \subseteq V$ – произвольное непустое множество. Нетрудно увидеть, что множество D является 2-диссоциирующим в графе G в том и только в том случае, когда для каждой вершины $v \in V_3$и каждых трех различных вершин u, w, z, смежных с вершиной v, выполняется следующее условие $D \cap \{v, u, w, z\} \vee\leq 3$.

На основе этой характеризации 2-диссоциирующего множества построим целочисленную линейную модель задачи. Для каждой вершины $v \in V$ создадим булеву переменную:

$$x_v = \begin{cases} 1, \text{если} v \in D \\ 0, \text{если} v \notin D \end{cases} \quad (2),$$

Тогда число вершин в множестве D можно выразить в виде следующей суммы $\sum_{v \in V} x_v$.

Ограничения на переменные, которые гарантируют, что множество D является 2-диссоциирующим, имеют вид $x_v + x_u + x_w + x_z \leq 3 \forall v \in V_3 \forall \{u, w, z\} \subseteq N_G(v)$.

Получаем следующую задачу целочисленного линейного программирования, которая является моделью задачи о наибольшем 2-диссоциирующем множестве:

$$\begin{cases} \sum_{v \in V} x_v \to max \\ x_v + x_u + x_w + x_z \leq 3 \forall v \in V_3 \forall \{u, w, z\} \subseteq N_G(v) \\ 0 \leq x_v \leq 1 \forall v \in V \\ x_v \in Z \forall v \in V \end{cases} \quad (3),$$

Характеристика графов с малыми значениями 2-диссоциирующего числа. Опишем, какие структурные ограничения на граф необходимы, чтобы значение $diss_2(G)$ было небольшим.

Лемма 1. О графах с 2-диссоциирующим числом не более 1.

Для произвольного графа $G = (V, E)$ справедливо: $diss_2(G) \leq 1 \leftrightarrow |V| \leq 1$.

Лемма 2. О графах с 2-диссоциирующим числом не более 2.

Для произвольного графа $G = (V, E)$справедливо: $diss_2(G) \leq 2 \leftrightarrow |V| \leq 2$.

Лемма 3. О графах с 2-диссоциирующим числом не более 3 через запрещенные подграфы.

Пусть Г – семейство графов, состоящее из всех четырехвершинных графов, максимальная степень которых не больше 2. Тогда справедливо: $diss_2(G) \leq 3 \leftrightarrow$ граф G является Г-свободным.

Эвристические методы решения задачи. Отсутствие известных оптимальных решений в данной задаче создает определенные ограничения при оценке оптимальности результатов. Поэтому, будем сравнивать результаты эвристических алгоритмов между собой и анализировать их сходства или различия. В рамках работы для решения задачи поиска наибольшего 2-диссоциирующего множества разработаны четыре эвристических алгоритма: жадный алгоритм, алгоритм случайного выбора, локальный поиск и метод имитации отжига. Сравнение эвристических алгоритмов проводится на разреженных случайных графах с небольшим количеством вершин. В качестве модели случайных графов выбрана модель Эрдеша-Реньи $G(n, p)$ с параметрами n (число вершин) и p (вероятность существования ребра между двумя вершинами), причем $p = 0.1$.

Выводы по экспериментам. По графикам локальный поиск требует значительно большего времени выполнения из-за необходимости проводить большое количество итераций. Жадный алгоритм очень быстр, однако может пропустить несколько вершин по сравнению с лучшим решением. Метод отжига показал себя близким к жадному по качеству среднего решения. Случайный подбор, как и ожидалось, наименее эффективен по качеству, хотя его разброс результатов иногда позволяет получить решение близкое к жадному. Также было замечено, что для повышения устойчивости случайного метода можно усреднить результаты нескольких запусков или выбрать лучший из них.

Практические эксперименты на случайных графах $G(n, p)$ подтвердили, что локальный поиск и имитация отжига находят более крупные 2-диссоциирующие множества, чем жадная или случайная стратегии. При этом жадный алгоритм и отжиг существенно быстрее локального поиска.

Можно сделать вывод, что выбор алгоритма зависит от требований: когда важна скорость или требуются многие запуски – предпочтителен жадный алгоритм, когда критичен размер множества – локальный поиск. Имитация отжига представляет компромисс, обеспечивая высокое качество решений за умеренное время.

Список использованных источников:

1. Yannakakis, M. Node-Deletion Problems on Bipartite Graphs. / M. Yannakakis // SIAM J. Comp. – 1981. – Vol. 10, № 2. – P. 310–327.

2. Orlovich, Yu.L. The complexity of dissociation set problems in graphs / Yu.L. Orlovich [et al.] // Discrete Appl. Math. – 2011. – Vol. 159, № 13. – P. 1352–1366.

3. Boliac, R. On computing the dissociation number and the induced matching number of bipartite graphs / R. Boliac, K. Cameron, V. Lozin // Ars Combinatoria. – 2004. – Vol. 72. – P. 241–253.

МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ БРОНИРОВАНИЯ ПАРКОВОЧНЫХ МЕСТ

Жагоров А.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Жвакина А.В. – канд. техн. наук, доцент

Представлено мобильное приложение для цифровизации бронирования парковочных мест. Оно предоставляет удобные инструменты для поиска, фильтрации, бронирования и управления. Применены современные технологии и архитектурные подходы. Разработка ориентирована на автолюбителей, арендодателей и бизнес.

Бронирование парковочных мест становится всё более актуальной задачей в условиях увеличения количества автомобилей и дефицита свободных парковочных зон в городах. Однако существующие сервисы поиска и аренды парковок зачастую недостаточно удобны, не предоставляют полной информации о доступных местах или требуют использования нескольких разрозненных приложений. Это приводит к затруднениям при поиске парковки, увеличению времени на её поиск и росту нагрузки на городскую инфраструктуру.

Большинство доступных решений [1-3] либо ориентированы на долгосрочную аренду парковочных мест, либо предлагают ограниченные возможности бронирования, не учитывая актуальную загруженность и индивидуальные предпочтения пользователей. В результате водители вынуждены тратить значительное время на поиск парковки, а владельцы частных и коммерческих стоянок теряют потенциальных клиентов из-за отсутствия эффективных инструментов управления и продвижения.

Разрабатываемое мобильное приложение предназначено для автоматизации процесса бронирования парковочных мест, обеспечивая удобный поиск, управление бронированием и коммуникацию между пользователями. Функционал включает отображение доступных парковочных мест в реальном времени, фильтрацию по различным параметрам (расположение, стоимость, доступность и пр.). Внедрение такой платформы сократит время поиска парковки, снизит нагрузку на городские дороги и повысит эффективность использования парковочных ресурсов.

Приложение подходит для использования всеми владельцами автомобилей, пользующимися паркингами на регулярной основе, а также владельцами паркингов, заинтересованных в автоматизации и цифровизации рабочих процессов. Данная разработка нацелена на упрощение и ускорение отношений между владельцами паркингов и их клиентами.

Проект построен с использованием архитектурных подходов Domain-Driven Design и Clean Architecture, что гарантирует его масштабируемость, модульность и удобство в поддержке. В качестве серверной платформы используется ASP.NET Core, обеспечивающий высокую производительность и надёжную защиту. Клиентская часть реализуется с помощью .NET MAUI – современного кроссплатформенного фреймворка, позволяющего разрабатывать мобильные и десктопные приложения на основе единого кода.

Для хранения данных применяется PostgreSQL, обеспечивающая стабильность, соответствие принципам ACID и возможность горизонтального масштабирования. Взаимодействие между приложением и базой данных осуществляется через Entity Framework Core, что предоставляет разработчикам удобные средства миграции и отслеживания изменений в моделях данных. Для реализации функциональности обмена сообщениями и обработки событий в режиме реального времени используется SignalR, позволяющий передавать данные без задержек.

Таким образом, создаваемое программное средство не только решает актуальные задачи пользователей, но и опирается на современные технологии, обеспечивающие удобство, безопасность и высокую отказоустойчивость. Его внедрение может существенно продвинуть диджитализацию данного направления, повысив прозрачность и доступность услуги аренды мест на паркингах.

Список использованных источников:

1. ParkMobile. Приложение для оплаты парковки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://parkmobile.io. – Дата доступа 15.03.2025.
2. EasyPark. Приложение для корпоративных паркингов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.easypark.com. – Дата доступа 15.04.2025.
3. Парковки Москвы – официальное приложение для оплаты парковки в Москве. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://parking.mos.ru. – Дата доступа 15.04.2025.

ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПЛАТФОРМА «LOGICLEAP»

Кузнецов Е.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Жвакина А.В. – канд. техн. наук, доцент

В статье рассматривается разработка веб-приложения для образовательной платформы, ориентированной на студентов, преподавателей и образовательные организации. Платформа обеспечивает удобный доступ к курсам, автоматизированный контроль знаний и встроенное взаимодействие между пользователями. Описаны ключевые функции, целевая аудитория, преимущества внедрения, анализ конкурентов, а также использованные технологии – Next.js, TypeScript и Express.js.

Данное веб-приложение предназначено для повышения удобства пользователей, обучающихся и преподающих на образовательных платформах. Его использование упрощает управление учебными процессами для преподавателей, а также делает обучение более доступным и эффективным для студентов.

Платформа включает в себя следующий функционал: регистрация и авторизация пользователей, разделение пользователей по ролям (студент, преподаватель, модератор организации и всего приложения), страница пользователя с просмотром информации о нем, просмотр доступных курсов и информации о них, добавление курсов в избранное, создание и редактирование курсов преподавателями, создание тестов и просмотр результатов, внедренный мессенджер между пользователями.

Потенциальными пользователями платформы являются студенты, преподаватели и образовательные учреждения, стремящиеся к цифровизации учебного процесса. Рост популярности онлайн-образования и удаленного обучения делает разработку подобного продукта востребованной и актуальной.

Результатом внедрения платформы станет значительное повышение эффективности образовательного процесса как для студентов, так и для преподавателей. Удобный доступ к учебным материалам и курсам позволяет учащимся сосредоточиться на обучении, не тратя время на поиск нужной информации или коммуникацию через сторонние ресурсы. Встроенные инструменты автоматизированного контроля знаний, такие как тесты и система оценки, облегчают преподавателям процесс проверки результатов и позволяют оперативно отслеживать успехи студентов. Мессенджер внутри платформы способствует более активному взаимодействию между участниками обучения, что особенно актуально в условиях удалённого или гибридного формата обучения. Для образовательных организаций использование такой платформы ведёт к росту вовлеченности студентов, улучшению обратной связи, а также оптимизации внутренних процессов и учебных ресурсов.

В процессе разработки веб-приложения для образовательной платформы учтены существующие аналоги, их функциональные возможности, преимущества и недостатки, выявлены тенденции развития онлайн-образования и определены, какие аспекты необходимо улучшить в разрабатываемом продукте.

Исследование Coursera, Udemy и Stepik [1, 2] позволяет выделить ключевые функции, востребованные пользователями: гибкий формат подачи материалов, система рекомендаций, возможность прохождения тестов и получения обратной связи. Однако большинство популярных платформ ориентированы на массовую аудиторию и не всегда предлагают гибкие инструменты для преподавателей внутри образовательных учреждений. Кроме того, у некоторых отсутствует встроенный мессенджер или удобные механизмы взаимодействия внутри закрытых учебных групп. Это открывает возможности для улучшения пользовательского опыта и создания более персонализированной платформы, ориентированной на конкретные образовательные организации.

В разработке веб-приложения используются современные технологии, обеспечивающие высокую производительность, расширяемость и удобство поддержки: Next.js, TypeScript, Express.js. Такой технологический стек позволяет создать стабильное, безопасное и отзывчивое приложение, удовлетворяющее потребности как конечных пользователей, так и разработчиков.

Список использованных источников:

1. Исследование рынка онлайн-образования [Электронный ресурс] : TalentTech. – Режим доступа: https://main.talenttech.ru/research/issledovanie-rynka-onlajn-obrazovaniya/. – Дата доступа: 15.03.2025.

2. Анализ рынка онлайн-образования: тренды, вызовы и перспективы роста [Электронный ресурс] : Антитренинги. – Режим доступа: https://antitreningi.ru/info/e-learning/analiz-rynka-onlajn-obrazovaniya-trendy-vyzovy-i-perspektivy-rosta/. – Дата доступа: 15.03.2025.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОЦЕДУРНОЙ ГЕНЕРАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ТРАСС ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ АВТОПИЛОТОВ

Мацуев Н.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Деменковец Д.В. – старший преподаватель

В данной работе рассматривается возможность применения программного средства Blender и процедурной генерации автомобильных трасс различной сложности для обучения и тестирования автопилотов.

Разработка и совершенствование систем автономного управления транспортными средствами требуют проведения большого количества тестов и обучения в безопасной, контролируемой среде. В связи с этим особую актуальность приобретает создание виртуальных симуляторов, позволяющих моделировать различные дорожные ситуации без угроз для здоровья и имущества человека. Такие решения позволяют эффективно обучать и тестировать системы автономного вождения, ускоряя внедрение автопилотов в реальную эксплуатацию.

Современные системы автопилотирования опираются на технологии машинного обучения, в частности, на свёрточные нейронные сети (CNN – Convolutional Neural Networks) [1]. Основная идея заключается в том, что нейросеть получает на вход изображения с камер, установленных на автомобиле, и на основе обученной модели принимает решения о дальнейших действиях – таких как поворот, ускорение или торможение. Процесс обучения такой нейронной сети требует большого количества данных, содержащих изображения дорожной сцены и соответствующие управляющие команды. Такие данные могут собираться при реальном движении автомобиля с водителем, действия которого служат эталоном для последующего обучения модели. Однако сбор и разметка таких данных является трудоемким и затратным процессом, а в некоторых случаях – попросту невозможным. К тому же реальные испытания ограничивают масштабируемость и вариативность данных.

Альтернативным подходом является использование искусственно созданных трасс, которые позволяют генерировать необходимые данные без выезда на реальные трассы. В рамках данной работы предлагается создание учебных автотрасс для автопилота, на которых можно безопасно собирать видеоматериалы движения по заданной траектории средствами Blender [2]. Полученные видеофрагменты могут быть преобразованы в обучающую выборку для свёрточной нейросети, которая, анализируя кадры, будет учиться принимать аналогичные решения при управлении. Такой подход делает возможным моделировать бесконечное множество дорожных ситуаций, включая редкие и опасные сценарии, которые сложно воспроизвести в реальности. Кроме обучения сгенерированные автотрассы можно использовать и для тестирования. При тестировании модель, получившая кадр с камеры и отправившая соответствующее управляющее действие, обновляет положение и ориентацию объекта-автомобиля.

Суть процедурной генерации заключается в том, что автомобильная трасса строится на основе кольца. Кольцо составлено двумя концентрическими окружностями радиусами trackRadius и trackRadius - trackWidth, где trackRadius – радиус внешней окружности и trackWidth – ширина дороги. Оба приближения указанных окружностей представляют собой вписанные правильные многоугольники, которые без труда строятся участками с применением тригонометрических функций. В процессе построения очередных сторон внешнего и внутреннего многоугольников с некоторой вероятностью (задается сложностью) возможно возникновение поворота в виде части другого «кольца» с последующим возвращением к основному. Количество захваченных поворотом сторон исходных многоугольников определяется случайным образом. Зная точки, где начинается поворот и где он должен закончится, можно провести хорду исходной окружности. Центр побочных окружностей (внутренней и внешней) будет лежать на серединном перпендикуляре к этой хорде. Следует отметить, что дуги побочных окружностей можно выбрать как с одной стороны от хорды, так и с другой. Поворот строится по аналогии с исходными многоугольниками, однако здесь начальный и конечный углы на окружностях для построения будут уже не 0 и 2π, а некоторые другие углы, определяемые начальной и конечной точками поворота. Для получения координаты z применяется следующее выражение:

$$z(i) = z_0 \cdot sin(\left[\frac{\omega \cdot trackLength}{2\pi}\right] \cdot \frac{2\pi \cdot i}{trackLeng}) \qquad (1),$$

где i – порядковый номер текущей стороны многоугольника; z_0 – максимальное значение высоты (задается сложностью); ω – частота (задается сложностью); $trackLength$ – количество сторон многоугольника; [x] – округление x до большего целого.

В результате работы реализована процедурная генерация автотрасс трёх уровней сложности: «низкого», «среднего» и «высокого». Примеры результатов генерации автомобильных трасс приведены на рисунках 1-3.

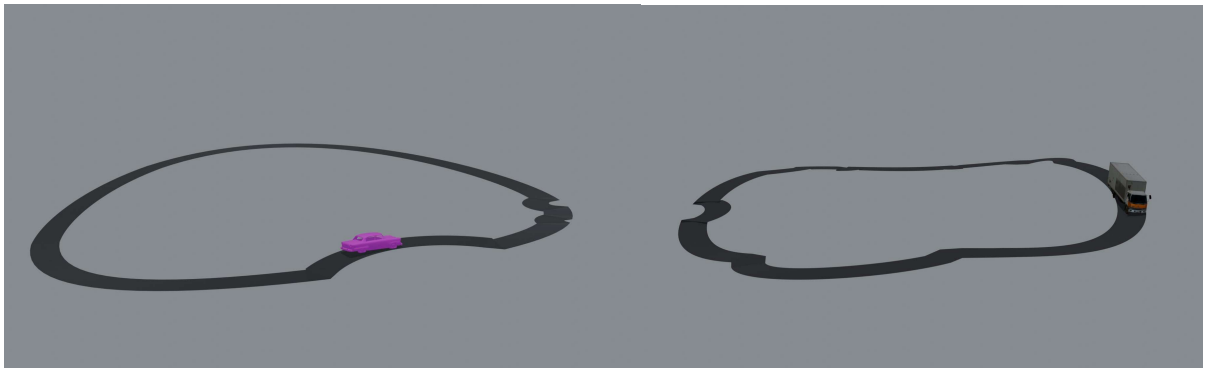


Рисунок 11 – Автотрассы «низкого» уровня сложности

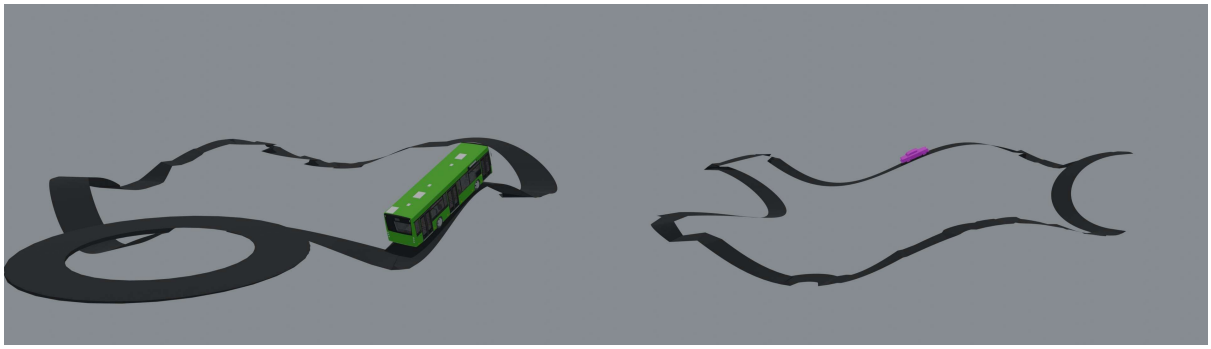


Рисунок 12 - Автотрассы «среднего» уровня сложности

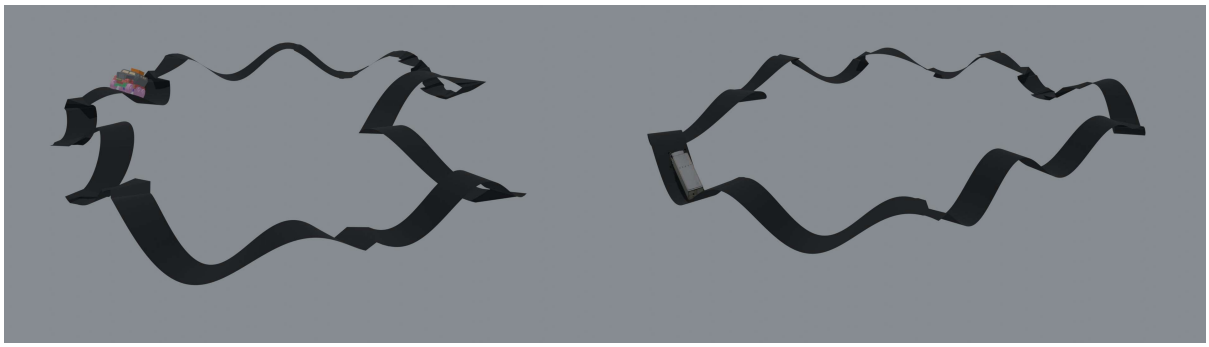


Рисунок 13 - Автотрассы «высокого» уровня сложности

Уровень сложности влияет на следующие параметры трассы: количество поворотов, высота и крутость подъемов. Использование Blender для генерации трасс позволяет гибко управлять параметрами учебной среды: разная освещенность, разные погодные условия, добавление препятствий.

Подобная процедурная генерация позволяет получить множество различных моделей автотрасс в зависимости от сложности и заданной протяженности. Описанная модель может быть использована и для обучения вождению, в том числе с использованием устройств виртуальной реальности.

Список использованных источников:

1. Reconfigurable processor for deep learning in autonomous vehicles / Yu Wang [et al.]. – ITU Journal: ICT Discoveries, Special Issue No. 1, 2017. – 13 p.

2. Blender 4.4 Reference Manual [Electronic resource]. – Mode of access: https://docs.blender.org/manual/en/latest. – Date of access: 07.04.2025.

АЛГОРИТМ РАСПОЗНАВАНИЯ НОМЕРОВ ДОМОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ И ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ

Новик В. В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Сиротко С. И. – канд. физ.-мат. наук, доцент

В статье описывается алгоритм для автоматического распознавания номеров домов на изображениях с использованием методов компьютерного зрения и глубокого обучения. Предложенное решение включает несколько этапов: детекцию текстовых областей с помощью нейросетевой модели EAST, сегментацию символов комбинированными методами, классификацию символов с использованием CNN и LSTM сетей, а также постобработку с коррекцией ошибок. Алгоритм демонстрирует высокую точность даже в сложных условиях (освещение, фон, ракурс). Отмечаются возможные применения в навигации, логистике и городском управлении, а также перспективы дальнейшего улучшения модели.

В современном мире автоматизация процессов идентификации адресной информации приобретает особую значимость для задач навигации, логистики и управления городской инфраструктурой. Особый интерес представляет задача распознавания номеров домов, которая осложняется многообразием форм представления таких номеров, а также сложными условиями съемки, включающими плохое освещение, неоднородный фон и различные ракурсы.

Для решения этой проблемы был разработан комплексный алгоритм, сочетающий современные методы компьютерного зрения и глубокого обучения. На первом этапе система осуществляет детекцию текстовых областей на изображении с использованием нейросетевой модели EAST (Efficient and Accurate Scene Text Detector) [1], которая показала высокую эффективность в задачах обнаружения текста в естественных условиях. Для улучшения качества детекции применяется предварительная обработка изображения, включающая нормализацию освещения с помощью методов CLAHE (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization) [2] и подавление шумов посредством билатеральной фильтрации.

После локализации текстовой области выполняется сегментация отдельных символов. В данном исследовании был применен комбинированный подход, использующий как традиционные методы компьютерного зрения (анализ связных компонент и проекционные методы), так и нейросетевые решения на основе U-Net архитектуры, что позволило добиться высокой точности разделения даже слипшихся символов. Особое внимание было уделено обработке случаев, когда номер дома содержит не только цифры, но и буквенные обозначения (например, "15А" или "42Б").

Классификация выделенных символов осуществляется с использованием глубоких нейронных сетей. В работе сравнивались различные архитектуры, включая ResNet, EfficientNet и CRNN (Convolutional Recurrent Neural Network). Наилучшие результаты показала комбинированная модель, где сверточная часть основана на модифицированной архитектуре ResNet-18 [3], а для учета контекстной информации добавлен рекуррентный слой LSTM. Обучение модели проводилось на расширенном датасете, включающем как общедоступные данные SVHN (Street View House Numbers) [4], так и специально собранную коллекцию изображений номеров домов с различных ракурсов и в разных условиях освещенности.

Важной особенностью предложенного алгоритма (рисунок 1) является этап постобработки, где применяются методы языкового моделирования для коррекции возможных ошибок распознавания. Система анализирует не только отдельные символы, но и их комбинации, используя статистику встречаемости различных форматов номеров домов. Дополнительно реализована интеграция с открытыми геоинформационными системами (OpenStreetMap), что позволяет проводить верификацию распознанных номеров по имеющимся базам адресов.



Рисунок 1 – Блок схема алгоритма

Экспериментальная проверка алгоритма проводилась на тестовой выборке, содержащей изображения, снятых в различных городских условиях. Система продемонстрировала высокую точность распознавания номеров. При этом в условиях сложного фона (наличие деревьев, рекламных конструкций, теней) точность составила 93,4%, что существенно превышает показатели традиционных OCR-систем.

На рисунке 2 представлен результат работы алгоритма распознавания номеров домов, демонстрирующий его эффективность на практике. Система успешно идентифицировала комбинированный номер "3В", корректно распознав как цифровой, так и буквенный компоненты. Этот пример наглядно подтверждает работоспособность предложенного подхода, сочетающего современные методы компьютерного зрения и глубокого обучения. Особенно важно отметить, что алгоритм показал стабильную работу даже при потенциальных сложностях, связанных с возможными вариациями шрифтов, ограничениями по разрешению исходного изображения или наличием визуальных помех. Данный случай успешного распознавания подтверждает правильность выбранной методологии, включающей адаптированную модель детекции текста, специально дообученный классификатор символов и систему постобработки для фильтрации возможных ошибок. Представленный пример служит убедительным доказательством того, что разработанный алгоритм готов к практическому применению в реальных условиях, где требуется надежное распознавание адресной информации различного формата.

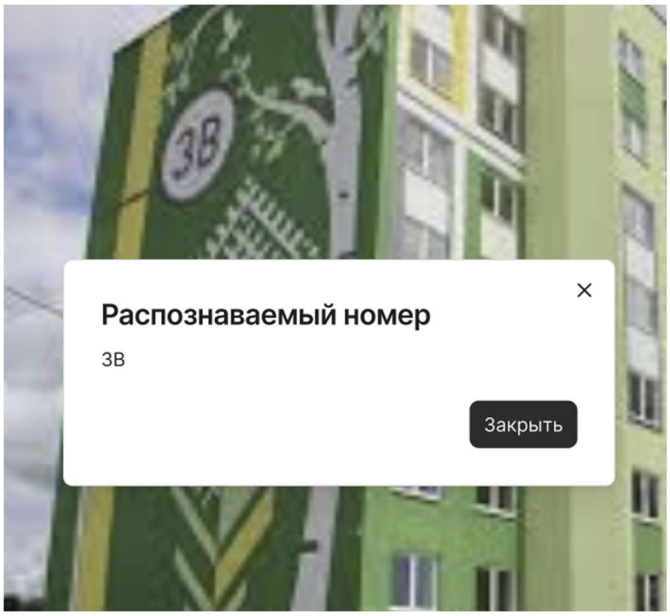


Рисунок 2 – Результат выполнения алгоритма

Разработанный алгоритм может найти применение в системах автоматической навигации, почтовой сортировки, городского планирования. Перспективы дальнейшего развития включают адаптацию модели для работы с видео потоком в реальном времени, а также интеграцию с системами дополненной реальности. Особый интерес представляет возможность использования трансформерных архитектур (например, Vision Transformer) для улучшения качества распознавания в сложных условиях.

В данной работе представлен комплексный алгоритм распознавания номеров домов, основанный на современных методах компьютерного зрения и глубокого обучения. Разработанное решение демонстрирует высокую эффективность при работе с различными типами номеров, показывая точность распознавания 97,3%. Особенно важно, что система сохраняет надежную работу в сложных условиях съемки, включая плохое освещение, неоднородный фон и различные ракурсы.

Список использованных источников:

1. An Efficient and Accurate Scene Text Detector [EAST] [Electronic resource]. – Mode of access: https://poshan0126.medium.com/an-efficient-and-accurate-scene-text-detector-east-973df9dfdd55. – Date of access: 12.04.2025.

2. Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.mathworks.com/help/visionhdl/ug/contrast-adaptive-histogram-equalization.html. – Date of access: 12.04.2025.

3. ResNet — Understand and Implement from scratch [Electronic resource]. – Mode of access: https://medium.com/analytics-vidhya/resnet-understand-and-implement-from-scratch-d0eb9725e0db. – Date of access: 12.04.2025.

4. The Street View House Numbers (SVHN) Dataset [Electronic resource]. – Mode of access: http://ufldl.stanford.edu/housenumbers/. – Date of access: 12.04.2025.

АЛГОРИТМ ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОЙ КОРРЕКЦИИ ПОКАЗАНИЙ КОМПЛЕКСА НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА ГЛЮКОЗЫ

Сарычев В.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Деменковец Д.В. – старший преподаватель

В работе представлен алгоритм коррекции показаний комплекса непрерывного мониторинга глюкозы в крови для снижения погрешности измерений. Повышение точности достигается благодаря учету персональных особенностей организма пользователя.

Сахарный диабет остается одной из наиболее актуальных проблем современной медицины, представляя собой не просто заболевание, а сложный метаболический синдром с системными последствиями. По данным ВОЗ в 2022 году распространённость диабета достигла 880 миллионов случаев [1]. Сахарный диабет опасен не своим наличием, а тяжёлыми осложнениями, такими как инфаркт, инсульт и ампутация нижних конечностей, которые развиваются при хронически повышенном или нестабильном уровне глюкозы в крови. Ключевым условием предотвращения этих осложнений является поддержание целевого уровня глюкозы в крови, что невозможно без её регулярного и точного мониторинга.

На сегодняшний день комплекс непрерывного мониторинга глюкозы (НМГ) представляет собой наиболее технологичный и перспективный способ измерения, позволяющий отслеживать динамику уровня сахара в режиме реального времени. Комплекс представляет собой электрохимический сенсор с ферментом глюкозооксида для измерения концентрации глюкозы в интерстициальной жидкости, что обеспечивает значительное преимущество перед традиционными инвазивными глюкометрами, требующими частых проколов пальцев. Схема работы сенсора представлена на рисунке 1.

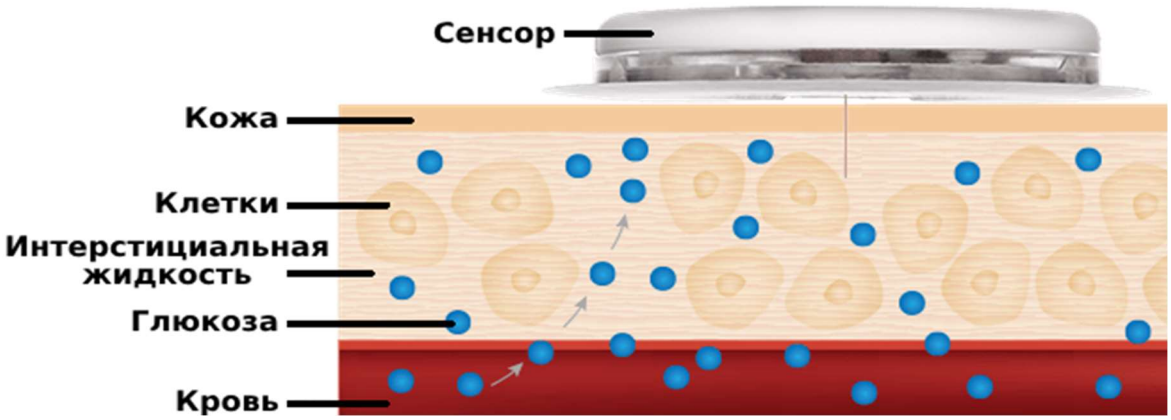


Рисунок 1 – Схема работы электрохимического сенсора непрерывного мониторинга глюкозы [2]

Однако даже самые совершенные из существующих комплексов имеют погрешность измерения (MARD), что особенно критично при быстрых изменениях уровня глюкозы и при использовании в замкнутых системах иммитации поджелудочной железы. В таких системах погрешность измерения непосредственно влияет на качество контроля. MARD рассчитывается по следующей форумле:

$$MARD(\%) = \frac{100}{N}\sum_{i=1}^{N}\frac{|a_i - b_i|}{b_i} (1),$$

где N – число парных измерений, b_i – i-е показание точного глюкометра или лабораторного анализа, a_i – *i*-е показание системы НМГ

Проведенный анализ показал, что существующие алгоритмы обработки сигнала не в полной мере учитывают такие индивидуальные параматеры пользователей как: особенности метаболизма, влияние пищевого поведения и физической активности, фармакокинетические параметры применяемых препаратов.

Исследования подтверждают эффективность персонализированного подхода [3]. В частности, адаптивные алгоритмы, учитывающие персональные особенности, показывают меньшую погрешность по сравнению со стандартными калибровочными подходами.

Индивидуальный подход предлагается реализовать путем использования алгоритма, состоящего из 4 этапов, представленных на рисунке 2.

На *I* этапе осуществляет сбор и первичный анализ данных из трех основных источников: показаний сенсора НМГ, отражающего уровень глюкозы в интерстициальной жидкости; пользовательских данных о питании и введении инсулина, вводимых через мобильное приложение; а также информации о физической активности, получаемой с синхронизированных фитнес-трекеров. Эти данные формируют исходную информационную базу для последующей обработки.

На *II* этапе производится глубокий анализ метаболических особенностей конкретного пользователя. Комплекс с помощью специально обученных алгоритмов выявляет индивидуальные особенности усвоения углеводов из разных типов пищи, анализирует характерные реакции на физические нагрузки различной интенсивности и продолжительности, а также учитывает фармакокинетические параметры применяемой инсулинотерапии. Особое внимание уделяется выявлению суточных колебаний чувствительности к инсулину.

На III этапе применяется нейросеть, которая осуществляет прогнозирование уровня глюкозы на 15-20 минут вперед. Модель анализирует данные за последние 6 часов, выявляя характерные тренды и закономерности в изменениях уровня глюкозы в крови. При этом учитывается время и состав последнего приема пищи, дозы и время введения инсулина, уровень и характер физической активности. Такой подход позволяет предсказывать изменения уровня глюкозы с приемлемой точностью.

На *IV* этапе выполяется динамическая адаптация, при который каждые 5 минут пересчитываются калибровочные коэффициенты. Комплекс учитывает контрольные замеры глюкозы, индивидуальную скорость ее изменения, а также различные внешние факторы, такие как уровень стресса или фаза циркадного ритма. Подход позволяет непрерывно корректировать параметры алгоритма, минимизируя погрешность измерений.

На выходе комплекс формирует скорректированные показания уровня глюкозы в крови с учетом всех выявленных индивидуальных особенностей, а также прогноз изменения уровня глюкозы в крови на ближайшие 15-20 минут и персонализированные рекомендации по коррекции терапии.



Рисунок 2 – схема предлагаемого алгоритма

Целью работы является улучшение показателя погрешности измерений (MARD) посредством алгоритма за счёт трёх основных факторов: учёта пищевых привычек, коррекции по данным физической активности, и динамической калибровки. Перспективность такого комплексного подхода доказывают результаты схожих исследований: исследование, направленное на расширение возможностей НМГ и исследование по снижению риска критических падений уровня глюкозы в крови [4, 5].

Список использованных источников:

1. World Health Organization [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/diabetes. – Дата доступа: 11.04.2025.

2. FreeStyle Libre [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.freestyle.abbott/kw-en/discover-freestyle-libre/why-freestyle-libre-/what-are-the-components-of-the-freestyle-libre-system.html. – Дата доступа: 11.04.2025.

3. National Library of Medicine [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29032732/ . – Дата доступа: 11.04.2025.

4. National Library of Medicine [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39158994/ . – Дата доступа: 11.04.2025.

5. IEEEXplore. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ieeexplore.ieee.org/document/10652799. – Дата доступа: 11.04.2025.

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ПОИСКА И СОЗДАНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ИНТЕРЕСАМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ РЕКОМЕНДАЦИЙ

Сачивко В.Г.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Жвакина А.В. – канд. техн. наук, доцент

Представлено веб-приложение, предназначенное для автоматизации процесса поиска и создания мероприятий по интересам. Разработка ориентирована как на организаторов, так и на участников событий. Программное средство сочетает в себе интеллектуальные алгоритмы рекомендаций, модульную архитектуру и современный технологический стек, обеспечивая высокую степень персонализации, удобство и масштабируемость.

Современные веб-приложения, ориентированные на организацию мероприятий и участие в них, например, Meetup, Timepad, часто ограничены односторонним функционалом – либо исключительно для организаторов, либо для участников. Это усложняет процесс взаимодействия и требует использования нескольких сервисов одновременно. Предлагаемое программное средство призвано устранить данный недостаток, предоставив пользователю единый цифровой инструмент для создания, поиска и участия в мероприятиях.

Приложение реализует следующие ключевые модули: создание, редактирование и удаление мероприятий; интеллектуальные рекомендации на основе пользовательской активности и интересов; регистрация участников; фильтрация по таким параметрам, как тематика, локация, формат, дата; встроенный модуль общения; оценка организаторов; система жалоб; административная и модераторская панели для управления контентом и пользователями.

Проект построен на следующем технологическом стеке: Node.js, React, PostgreSQL, TypeScript. Архитектура приложения ориентирована на расширяемость, безопасность и устойчивую работу при увеличении нагрузки.

Система интеллектуальных рекомендаций учитывает историю активности, предпочтения и тематические категории, позволяя пользователю получать персонализированные предложения. Это повышает вовлеченность аудитории и способствует росту активности платформы.

Основными пользователями приложения являются:

– люди, заинтересованные в участии в мероприятиях, соответствующих их интересам;

– организаторы различных мероприятий (мастер-классы, встречи по интересам, спортивные события и др.);

– администраторы и модераторы платформы.

Преимущества программного средства:

– персонализированный подход к каждому пользователю благодаря интеллектуальным рекомендациям;

– удобный механизм создания и продвижения мероприятий для организаторов;

– расширенные возможности поиска и фильтрации;

– высокая степень автоматизации взаимодействия участников и организаторов;

– масштабируемость и возможность интеграции с внешними сервисами (например, социальными сетями или платежными системами).

Система оценки организаторов и мероприятий формирует доверительную среду и способствует улучшению качества проводимых событий, а модуль общения между участниками до, во время и после мероприятия повышает их лояльность и уровень взаимодействия.

Согласно экономическим расчётам, проект обладает высокой рентабельностью и эффективностью, что позволяет его внедрение на рынке в качестве конкурентоспособного продукта.

Таким образом, разрабатываемое веб-приложение представляет собой функционально насыщенную, современную и ориентированную на пользователя платформу, способствующую развитию социальной активности и тематических сообществ.

Список использованных источников:

1. Meetup – сервис для социальных встреч и мероприятий. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.meetup.com. – Дата доступа: 09.04.2025.

2. Timepad – сервис для планирования мероприятий. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://timepad.ru. – Дата доступа: 09.04.2025.

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ КОМПАНИИ 360TOUR

Стешиц Д.Н.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Жвакина А.В. – канд. техн. наук, доцент

Представлено веб приложение для компании 360tour, занимающихся созданием виртуальных туров. Применены современные технологии и подходы для создания веб приложения. Разработка ориентирована на сотрудников компании и владельцев бизнесов, заинтересованных в его продвижении.

Основной род деятельности компании 360Tour – профессиональная съёмка и сборка виртуальных туров на заказ.

Виртуальные туры представляют собой инновационный способ представления пространственной информации, позволяющий пользователям исследовать различные локации, не покидая своего дома. Виртуальный тур – это набор сферических панорам, которые объединены между собой в единую логическую цепочку участков на местности. Каждая панорама предоставляет пользователю возможность увидеть окружающую среду в 360-градусном формате, что создает эффект полного погружения в пространство.

Процесс создания виртуального тура начинается с поиска клиентов. После нахождения клиента, собираются необходимые документы. После подготовки необходимых документов компания договаривается с заказчиком о размещении сотрудников на территории комплекса, который необходимо будет отснять. По прибытии на объект производится фото и видео съемка.

Следующим этапом является обработка отснятого материала, сшивка панорам и создание виртуального тура. Этапы создания фотопанорам: фотосъемка (проводится с помощью дрона или камеры. Результатом являются снимки в форматах RAW или DNG), обработка фотографий в Camera Raw (этот плагин позволяет редактировать форматы RAW и DNG с привычным для пользователей Photoshop интерфейсом), сшивка панорамы в PTGUI, редактирование сшитых панорам в Photoshop, цветокоррекция всех готовых панорам. Таким образом проходит создание и подготовка панорам к сборке виртуального тура. Компания 360Tour создает виртуальные туры преимущественно в двух программах: KRPano и 3DVista.

В процессе создания туров, непонятные моменты уточняются с заказчиком, и по результатам работы предоставляется первая версия тура для внесения дополнительных правок.

Разрабатываемое веб приложение – эффективный инструмент для демонстрации возможностей создания виртуальных туров на заказ, которое позволяет клиентам ознакомиться с портфолио и функционалом компании. Его ключевые функции включают размещение статей, виртуальных туров, фильтрацию по категориям, автоматический расчет стоимости услуг. Проект реализован с применением современных архитектурных решений и кроссплатформенных технологий.

Потенциальными пользователями приложения являются люди, выполняющие поиск способов продвижения в сети Интернет. Рост цифровизации систем во всех сферах деятельности человека обуславливает актуальность разработки данного приложения.

Использование Django и React для создания веб-приложения компании 360tour предоставляет ряд значительных преимуществ, которые способствуют эффективной разработке и улучшению пользовательского опыта. Для хранения данных применяется PostgreSQL, обеспечивающая надёжность, ACID-совместимость и возможность горизонтального масштабирования.

Результатом разработки и запуска приложения явилось увеличение количества клиентов и улучшение качества коммуникации с ними. Приложение разработано по заказу компании.

Таким образом, создаваемое веб-приложение не только опирается на современные технологии, обеспечивающие удобство и безопасность. Его внедрение может существенно популяризировать виртуальные туры как способ продвижения в сети Интеренет и улучшить имидж компании путем повышения удовлетворенности клиентов.

Список использованных источников:

1. lumpics.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://lumpics.ru//programs-for-creating-panoramas-from-photos/. – Дата доступа: 10.04.2025.

2. 360Tour [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://360tour.by. – Дата доступа: 10.04.2025.

3. AirPano [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.airpano.ru/360video_list.php. – Дата доступа: 10.04.2025.

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ВЕДЕНИЯ ПЕРСОНАЛЬНОГО БЛОГА С НОВОСТНОЙ ЛЕНТОЙ

Тепляков А.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Жвакина А.В. – канд. техн. наук, доцент

В работе рассматривается разработка веб-приложения для ведения персонального блога. Реализован функционал регистрации, создания и редактирования записей, управления комментариями, лайками и подписками. Целевой аудиторией являются блогеры, организации и читатели. Приложение обеспечивает удобный способ создания, распространения и потребления контента. Разработка велась с учетом пользовательских требований. Полученный продукт позволяет эффективно взаимодействовать с новостной лентой и способствует развитию коммуникации между авторами и аудиторией.

В последние годы персональные блоги и новостные ленты стали неотъемлемой частью цифрового пространства, предоставляя пользователям платформы для самовыражения, обмена информацией и взаимодействия с аудиторией.

Развитие веб-приложений для ведения персональных блогов с интегрированными новостными лентами отражает современные тенденции в сфере цифровых коммуникаций и контентного производства. Согласно прогнозу в 2028 году более шести миллиардов человек станут пользователями социальных сетей по сравнению с 5,17 миллиарда человек, в 2022 году [1].

Кроме того, по подсчетам Mediascope, в 2023 году среднее время интернет-потребления в день на жителя России составило 4 часа 9 минут, а это больше, чем в 2022 год [2].

По состоянию на январь 2024 года, в Беларуси насчитывалось 5,63 млн пользователей социальных сетей, что составляет 59,4% от общей численности населения [3].

Блогеры ведут личные или профессиональные блоги, создавая авторский контент. Организации размещают корпоративные новости, статьи и пресс-релизы. Читатели ищут интересные статьи, подписываются на авторов и участвуют в обсуждениях. Результатом разработки и запуска приложения является готовое веб-приложение, обеспечивающее пользователям возможность создавать, редактировать и публиковать контент, подписываться на авторов и взаимодействовать с новостной лентой. Приложение предоставляет авторам удобную платформу для создания и распространения контента, а читателям – простой способ потреблять информацию и взаимодействовать с любимыми блогерами.

При разработке веб-приложения для ведения персонального блога с новостной лентой проанализированы существующие платформы, их функциональные возможности, преимущества и недостатки:

WordPress – система управления содержимым сайта (CMS) с открытым исходным кодом. Преимущества: гибкость и расширяемость благодаря множеству плагинов, большое сообщество пользователей и разработчиков, поддержка SEO-оптимизации. Недостатки: требуется регулярное обновление и поддержка для обеспечения безопасности.

Яндекс.Дзен – это сервис, который предлагает всем желающим бесплатный доступ к новостной ленте со списком рекомендаций. Преимущества: большая аудитория благодаря интеграции с Яндексом, простота использования и быстрая публикация контента, возможность заработка на контенте. Недостатки: ограниченные возможности кастомизации внешнего вида блога, зависимость от алгоритмов рекомендаций, что может влиять на охват аудитории, наличие рекламы.

Telegram – самый популярный сервис, соединяющий в себе соцсети, мессенджер, блог-площадку и средство для ведения бизнеса. Сегодня он занимает второе место в рейтинге социальных сетей по версии App Store. Преимущества: мгновенные уведомления, простота создания и управления каналом, высокий ER (уровень вовлеченности) своих пользователей, каналы заметны для пользователей (они находятся вперемешку с чатами между друзьями). Недостатки: ограниченные возможности форматирования и организации контента, сложности в привлечении новой аудитории.

Технологический стек проекта включает TypeScript, React, Redux Toolkit (RTK) и Prisma ORM.

Список использованных источников:

1. Статистика социальных сетей - пользователи и доходы (2025) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://tridenstechnology.com/ru/статистика-социальных-сетей. – Дата доступа: 09.04.2025.

2. Переупаковка и персонализация: что изменилось в медиапотреблении за 5 лет [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://trends.rbc.ru/trends/social/662899239a794767274cb077. – Дата доступа 14.03.2025.

3. Digital и SMM-тренды в Республике Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://belretail.by/article/digital-i-smm-trendyi-belarus-digital-data-report-2023. – Дата доступа 14.03.2025.

АППРОКСИМАЦИЯ НЕЯВНО ЗАДАННЫХ ФУНКЦИЙ СУММОЙ ЭКСПОНЕНТ

Могилевец Д.Э., Романовский М.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Анисимов В.Я. – канд. физ.-мат. наук, доцент

В работе рассматривается задача восстановления параметров функции, заданной в дискретных точках и представляющей собой сумму двух экспонент. Для нахождения параметров экспоненциальной модели используется метод наименьших квадратов, основанный на разностных приближениях производных второго порядка. Приводится аналитическое обоснование метода и анализ его применимости. Также проводится анализ описанного метода с использованием СКА Maple.

Пусть некоторая неизвестная вещественнозначная функция $f(x)$ задана множеством своих значений в узловых точках $(x_0, x_1, \dots, x_n)$. При этом $x_i = ih$, где h – некоторое положительное действительное число. Пусть также известно, что на самом деле $f(x)$ представляет собой сумму двух экспонент, то есть $f(x) = ce^{\alpha x} + de^{\beta x}$ (где α и βвозможно комплексно сопряжённые числа).

Поскольку $f(x)$ – сумма двух экспонент, $f(x)$ является решением некоторого дифференциального уравнения вида $y'' + ay' + by = 0$, где a и b – некоторые действительные положительные числа.

Для того, чтобы отыскать коэффициенты a и b воспользуемся методом наименьших квадратов [1]. Обозначим $f(x_i) = y_i$, тогда, используя разностные формулы второго порядка точности можем найти, $f'(x_i) = y_i' = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2h}$ и $f''(x_i) = y_i'' = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{h^2}$, для i от 1 до $(n-1)$ [2]. Тогда необходимо минимизировать выражение:

$$\sum_{i=1}^{n-1} (y_i'' + ay_i' + by_i)^2 \tag{1}$$

по *a* и *b.* Для этого приравняем частные производные по a и b к нулю. Имеем:

$$\sum_{i=1}^{n-1} 2y_i'(y_i'' + ay_i' + by_i) = 0 \tag{2}$$

$$\sum_{i=1}^{n-1} 2y_i(y_i'' + ay_i' + by_i) = 0 \tag{3}$$

Относительно a и b имеем линейную систему, можем переписать её в виде:

$$\left(\sum_{i=1}^{n-1} y_i'^2\right) a + \left(\sum_{i=1}^{n-1} y_i' y_i\right) b = -\sum_{i=1}^{n-1} y_i' y_i'' \tag{4}$$

$$\left(\sum_{i=1}^{n-1} y_i' y_i\right) a + \left(\sum_{i=1}^{n-1} y_i^2\right) b = -\sum_{i=1}^{n-1} y_i y_i'' \tag{5}$$

Определитель данной системы равен:

$$\left(\sum_{i=1}^{n-1} y_i'^2\right)\left(\sum_{i=1}^{n-1} y_i^2\right) - \left(\sum_{i=1}^{n-1} y_i' y_i\right)^2 \tag{6}$$

Данное соотношение, из неравенства Коши-Буняковского, равно нулю в том и только том случае, если $\frac{y_1}{y_1'} = \frac{y_2}{y_2'} = \cdots = \frac{y_{n-1}}{y_{n-1}'}$ [3], что верно в том и только том случае, если $f(x)$ удовлетворяет уравнению $y' = py$, для некоторой константы p, то есть $f(x) = ce^{px}$, что не является суммой двух экспонент.

Значит во всяком ином случае имеем однозначное выражение для a и b. Следовательно, имея a и b можем выразить $\alpha = \frac{-a+\sqrt{a^2-4b}}{2}$ и $\beta = \frac{-a-\sqrt{a^2-4b}}{2}$. Рассмотрим случай, где $a^2 - 4b > 0$, тогда решение дифференциального уравнения можно записать в виде $ce^{\alpha x} + de^{\beta x}$, где c и d – действительные. Для того, чтобы отыскать их, опять воспользуемся методом наименьших квадратов. Будем минимизировать по c и d выражение:

$$\sum_{i=0}^{n} \left(ce^{\alpha x_i} + de^{\beta x_i} - y_i\right)^2 \tag{7}$$

Вновь используя метод наименьших квадратов, можем отыскать значения c и d. Остальные случаи значений дискриминанта рассматриваются аналогично, в соответствии с общей теорией решения дифференциальных уравнений.

Рассмотрим приращение функции $f(x)$ при шаге h в зависимости от значений c, α, d, β. Не нарушая общности, положим $\alpha > \beta$. $\Delta f \approx f'(x)h = (c\alpha e^{\alpha x} + d\beta e^{\beta x}) = c\alpha e^{\alpha x}(1 + \frac{d\beta}{c\alpha e^{\alpha x}}^{\beta x})h$. Функция $g(x) = \frac{d\beta}{c\alpha e^{\alpha x}}^{\beta x}$ возрастает по x, пусть максимальное рассматриваемое значение $x = m$. Тогда, если величина $\frac{d\beta e^{\beta x}}{c\alpha e^{\alpha x}} \ll h^2$, то вклад второго слагаемого в производную функции невозможно оценить пользуясь разностным соотношением второго порядка точности. Значит, необходимым условием работы метода является $\frac{d\beta e^{\beta m}}{c\alpha e^{\alpha m}} h^2$.

Для проверки описанного метода была реализована программа с использованием СКА Maple. Был проведён набор тестов. В каждом из тестов использовалась функция, представляющая собой сумму двух экспонент с различными коэффициентами. Рассматривался отрезок [0,1], шаг $h = 10^{-2}$. Был подтверждён представленный выше критерий работы метода. Относительная погрешность метода в оценке показателей степеней экспоненты составила в среднем 5%.

Для уравнения $e^{2x} + 5e^{3x}$ была исследована зависимость величины среднего квадрата отклонения от количества узловых точек. На графике ниже представлена зависимость величины десятичного логарифма среднеквадратичного отклонения решения от истинного от десятичного логарифма числа точек (число точек менялось в пределах от 5 до 20). Как можно видеть на графике. Как можно видеть, данная зависимость почти линейна. Коэффициент пропорциональности между логарифмами величин равен примерно 1. То есть, величину ошибки можно определить примерно как $\frac{const}{n}$, где n – число точек разбиения. Тогда можно сделать вывод, что погрешность имеет порядок $O(h)$.

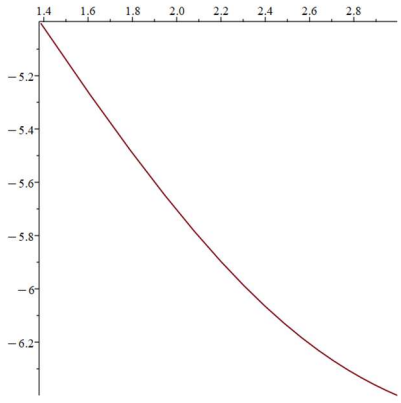


Рисунок 1 – Зависимость логарифма ошибки от логарифма числа узловых точек

Список использованных источников:

1. Хартли, Р. Метод наименьших квадратов и его приложения / Р. Хартли, А. Зиссерман. – М.: Бином, 2006. – 456 с.

2. Садовничий, В.А. Методы численного дифференцирования / В.А. Садовничий, А.А. Ларионов. – М.: МГУ, 1999. – 184 с.

3. Богачёв, В.И. Мера и интеграл / В.И. Богачёв. – М.: МЦНМО, 2005. – 496 с.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РОБАСТНЫХ МЕТОДОВ РЕГРЕССИИ ПРИ НАЛИЧИИ ВЫБРОСОВ В ДАННЫХ

Косяков М.М, Таргонский Д.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Рыкова О.В. – канд. физ.-мат. наук, доцент

В работе проведен сравнительный анализ эффективности робастных методов регрессии (Huber, RANSAC, Theil-Sen) и классической линейной регрессии (OLS) при наличии выбросов. На синтетических данных с аномалиями оценены среднеквадратичная (MSE) и средняя абсолютная (MAE) ошибки. Результаты показали, что OLS значительно уступает робастным методам из-за чувствительности к выбросам. Наименьшие ошибки продемонстрировали методы Theil-Sen (MSE=0.5982) и Huber (MSE=0.5985), тогда как RANSAC оказался менее стабильным. Исследование подтверждает преимущество робастных методов для работы с зашумленными данными.

Выбросы в данных представляют собой аномальные наблюдения, которые существенно отклоняются от общей тенденции и могут искажать результаты анализа, особенно при использовании классической линейной регрессии (OLS), основанной на методе наименьших квадратов. OLS минимизирует сумму квадратов остатков, что делает его чувствительным к экстремальным значениям из-за квадратичной функции потерь. Ниже представлена формула нахождения OLS.

$$OLS = argmin \sum_{i=1}^{n} (y_i - y_i)^2 \quad (1),$$

где y_i – наблюдаемое значение, y_i – предсказанное значение; *n* – число наблюдений.

Робастные методы регрессии, такие как регрессия Хьюбера, RANSAC и Тейл-Сена, разработаны для минимизации влияния выбросов и повышения точности моделей в условиях зашумленных данных. Целью исследования является сравнение эффективности этих методов с OLS на синтетических данных с выбросами.

Регрессия Хьюбера использует комбинированную функцию потерь, которая переходит от квадратичной к линейной при больших остатках:

$$L_\delta(y, y) = \begin{cases} \frac{1}{2}(y_i - y_i)^2, \text{если } \left|y - y\right| \le \delta \\ \delta \left|y - y\right| - \frac{1}{2}\delta^2, \text{иначе} \end{cases} \quad (2),$$

где δ – пороговое значение; y – наблюдаемое значение; ŷ – предсказанное значение.

RANSAC итеративно выбирает подмножества данных, строит модель и определяет inliers, повторяя процесс для выбора модели с наибольшим числом inliers. Тейл-Сен оценивает наклон регрессии через медиану наклонов всех пар точек, что обеспечивает устойчивость к выбросам до 29,3% аномалий, но имеет вычислительную сложность O(n^2).

Методика исследования. Для анализа были сгенерированы синтетические данные, состоящие из 100 точек с линейной зависимостью y = 2x + 1, к которым добавлен нормальный шум и 10 выбросов. Данные разделены на тренировочную (80%) и тестовую (20%) выборки с использованием функции train_test_split (random_state=42). Были применены следующие модели: классическая линейная регрессия (LinearRegression), регрессия Хьюбера (HuberRegressor), RANSAC (RANSACRegressor) и Тейл-Сен (TheilSenRegressor). Оценка моделей проводилась по метрикам среднеквадратичной ошибки (MSE) и средней абсолютной ошибки (MAE) на тестовой выборке. Для реализации использовались Python и библиотеки scikit-learn, matplotlib, numpy. Результаты визуализированы с помощью графика, на котором отображены данные и линии регрессии для каждой модели (рисунок 1).

График, представленный на рисунке 1, показывает исходные данные и линии регрессии для каждой модели. Линейная регрессия значительно отклоняется в сторону выбросов, тогда как робастные методы лучше соответствуют основной тенденции данных.

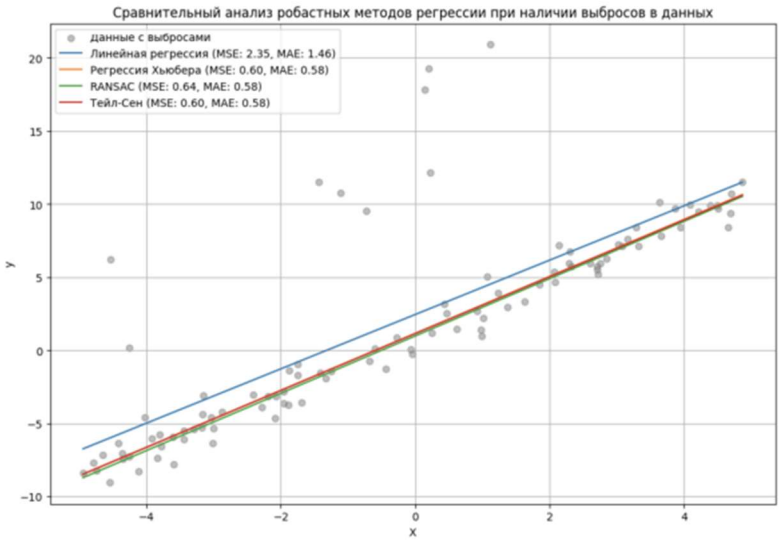


Рисунок 1 – Сравнительный анализ робастных методов регрессии при наличии выбросов в данных

Сравнительная таблица ошибок представлена в таблице 1. Линейная регрессия показала наибольшие ошибки (MSE=2.3549, MAE=1.4578), что подтверждает ее чувствительность к выбросам. Робастные методы продемонстрировали значительно меньшие ошибки: Тейл-Сен (MSE=0.5982, MAE=0.5777), Хьюбера (MSE=0.5985, MAE=0.5801) и RANSAC (MSE=0.6372, MAE=0.5833).

Таблица 1 – Сравнительная таблица ошибок моделей регрессии

Метод	MSE	MAE
Линейная регрессия	2.3549	1.4578
Регрессия Хьюбера	0.5985	0.5801
RANSAC	0.6372	0.5833
Тейл-Сен	0.5982	0.5777

Выводы. Проведенное исследование подтвердило, что классическая линейная регрессия существенно уступает робастным методам в условиях данных с выбросами. Наилучшие результаты по точности показали методы Тейл-Сена и Хьюбера, тогда как RANSAC оказался менее стабильным из-за случайного выбора подвыборок. Робастные методы регрессии предпочтительны для анализа зашумленных данных, что делает их ценным инструментом в задачах обработки данных с аномалиями.

Список использованных источников:

1. HSE ВКР: Сравнительный анализ робастных методов регрессии при наличии выбросов в данных [Электронный ресурс] : Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики». – Режим доступа: https://www.hse.ru/edu/vkr/296295757. – Дата доступа: 22.04.2025.

2. HSE Курс: Машинное обучение и анализ данных [Электронный ресурс] : Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики». – Режим доступа: https://www.hse.ru/edu/courses/495283260. – Дата доступа: 22.04.2025.

3. Robust Statistics [Электронный ресурс] : ScienceDirect. – Режим доступа: https://www.sciencedirect.com/topics/mathematics/robust-statistic. – Дата доступа: 22.04.2025.

4. Robust Regression [Электронный ресурс] : PennState, STAT 501: Regression Methods. – Режим доступа: https://online.stat.psu.edu/stat501/lesson/t/t.1/t.1.1-robust-regression-methods. – Дата доступа: 22.04.2025.

5. Robust Regression: Reduce Outlier Effects [Электронный ресурс] : Exponenta, R2021a Documentation. – Режим доступа: https://docs.exponenta.ru/R2021a_nmtnew/stats/robust-regression-reduce-outlier-effects.html. – Дата доступа: 22.04.2025.

СЕКЦИЯ 6
«ФИЛОСОФИЯ, ЛОГИКА И ЖИЗНЬ»

ФИЛОСОФИЯ ЭКОНОМИКИ ДРЕВНЕЙ ГРЕЦИИ

Смоляков В.А., магистрант гр.476501

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Чуешов В.И. – доктор философских наук, профессор

Аннотация. В тезисах рассматривается философия экономики в Древней Греции, акцентируя внимание на экономических идеях Ксенофонта, Сократа, Платона и Аристотеля. Исследование раскрывает взаимосвязь экономики, этики и политики в античной мысли, подчеркивая её актуальность для современного философского и экономического дискурса. Особое внимание уделено концепциям домоводства (ойкономии) и хрематистики, а также их влиянию на формирование представлений о справедливости, богатстве и государственном устройстве.

Введение

"Никогда раньше мы не наблюдали в истории человечества науки без философии, и иссле-дуя научное мышление видно, что философские теории и философские системы входят как не-обходимая составляющая в науку во все времена её взаимодействия с обществом"

(академик Вернадский В.И).

Философы, такие как Карл Поланьи, в своей работе "Великая трансформация" подчеркивали, что экономика должна быть "встроена" в социальные и культурные отношения, что созвучно идеям Аристотеля о природе экономики.

Философия экономики в Древней Греции представляет собой уникальный синтез этических, политических и хозяйственных идей, которые заложили основы для понимания экономики как части общественной жизни. Античные философы, такие как Ксенофонт, Сократ, Платон и Аристотель, рассматривали экономику не как самостоятельную науку, а как искусство управления домохозяйством (ойкономию), тесно связанное с вопросами морали и справедливости. Их идеи остаются актуальными для современного осмысления экономических процессов, особенно в контексте глобальных вызовов, связанных с неравенством, экологическими кризисами и этическими дилеммами капитализма.

Актуальность темы исследования обусловлена необходимостью переосмысления современных экономических парадигм через призму античной философии. В условиях глобализации и роста социально-экономических противоречий обращение к истокам экономической мысли позволяет выявить этические и философские основания, которые могут служить ориентирами для построения более справедливых и устойчивых экономических моделей.

Актуальность темы исследования определила его цель.

Цель исследования: Раскрыть сущность экономических идей древнегреческих философов Ксенофонта, Сократа, Платона и Аристотеля, а также в выявлении их влияния на формирование философских представлений о хозяйственной деятельности, справедливости и государственном устройстве и их значение для современной философии экономики.

Цель исследования определила его задачи:

1) Исследовать экономические идеи Ксенофонта и их связь с этикой и домоводством.

2) Проанализировать взгляды Сократа на богатство и нравственное совершенство.

3) Раскрыть учение Платона о справедливом государстве и его экономических основах.

4) Рассмотреть концепцию Аристотеля о разделении ойкономии и хрематистики.

5) Определить значение античной философии экономики для современного философского и экономического дискурса.

1. Ксенофонт в работе «Домострой» впервые систематизировал представления о домоводстве (ойкономии) как искусстве управления домохозяйством. Он подчеркивал, что цель экономии - не накопление богатства, а обеспечение благополучия семьи. Ксенофонт рассматривал домоводство как науку, которая учит использовать ресурсы эффективно и умеренно. Его идеи о духовном превосходстве над материальным богатством стали основой для дальнейшего развития античной экономической мысли [1].

Следовательно, Ксенофонт заложил основы для понимания экономики как искусства управления ресурсами, направленного на достижение гармонии и благополучия, а не бесконечного накопления материальных благ.

2. Сократ, чьи идеи переданы через диалоги Ксенофонта, утверждал, что истинное богатство заключается не в обладании материальными благами, а в умении довольствоваться малым. Он считал, что чрезмерное стремление к богатству препятствует нравственному совершенству, которое должно быть главной целью человеческой жизни.

Таким образом, Сократ подчеркнул, что экономическая деятельность должна быть подчинена этическим принципам, а не материальным интересам.

3. Платон в диалогах «Государство» и «Законы» разработал концепцию идеального государства, основанного на разделении труда и справедливом распределении ресурсов. Он выступал против

частной собственности для стражей и правителей, считая, что она порождает неравенство и коррупцию. Платон подчеркивал, что экономика должна служить общественному благу, а не личному обогащению [2].

Следовательно, Платон показал, что экономика должна служить общественному благу, а не личному обогащению, и что справедливое государство невозможно без этически обоснованной экономической системы.

4. Аристотель считал, что цель экономии - удовлетворение естественных потребностей, а не бесконечное накопление богатства [3].

Профессор, доктор философских наук Чуешов В.И в своей статье " О некоторых старых философских уроках исследования предмета экономической науки и их современном смысле" писал, что для Аристотеля хрематистика, экономика и каталлактика связанными друг с другом, но и также различными науками. Поэтому всё больше будут появляться современные значения древних философских знаний о науке экономика [4].

Таким образом, Аристотель подчеркнул, что цель экономии - удовлетворение естественных потребностей, а не бесконечное накопление богатства, что делает его идеи актуальными для критики современных экономических практик.

5. Идеи античной философии о связи экономики с этикой, справедливости, умеренности и нравственном совершенстве актуальны в условиях современных глобальных вызовов [6]. Античные философы, такие как Аристотель и Платон, подчеркивали, что экономика должна служить общественному благу, а не личному обогащению. Их критика хрематистики (искусства накопления богатства) и акцент на умеренности в потреблении предлагают альтернативу современной потребительской культуре и безудержному экономическому росту. Эти идеи могут быть использованы для разработки более справедливых и устойчивых экономических моделей, а также для формирования этически обоснованной экономической политики [7].

Следовательно, античная философия экономики остаётся актуальной для современного философского и экономического дискурса, предлагая альтернативные подходы к решению глобальных проблем.

Заключение

Философия экономики в Древней Греции представляет собой уникальный синтез этических, политических и хозяйственных идей, которые остаются актуальными для современного мира. Античные философы, такие как Ксенофонт, Сократ, Платон и Аристотель, заложили основы для понимания экономики как искусства управления ресурсами, направленного на достижение общественного блага.

Их идеи о справедливости, умеренности и нравственном совершенстве могут служить ориентирами для решения современных экономических и социальных проблем. В условиях глобальных вызовов, таких как неравенство, экологические кризисы и этические дилеммы капитализма, обращение к античной философии экономики становится особенно важным. Она предлагает альтернативные подходы к построению более справедливых и устойчивых экономических моделей, что делает её актуальной для философского и экономического дискурса XXI века [7].

Профессор, доктор философских наук Чуешов В.И в своей статье "Человеческий и социальный капитал как факторы экономического роста" утверждал, что задачи обеспечения экономического роста и поддержания его темпов на стабильном и оптимальном уровне невозможно решать без инвестиций не только в человеческий, но и социальный капитал. Эффективное развития экономики современного государства будет определяться ресурсами, направленными на формирование человеческого и социального капитала, которые оказывают воздействие на инновации, организации их выполнения и продвижения, что создаёт потребность в новых методах к управлению этими капиталами как условие экономического роста [8].

Таким образом, изучение античной философии экономики не только углубляет понимание исторических корней экономической мысли, но и предоставляет ценные идеи для формирования этически обоснованной экономической политики.

Список использованных источников:

1. Ксенофонт. Сократические сочинения. Домострой / Ксенофонт. - Санкт-Петербург: Комплект, 1993 - 415 с

2. Платон. Полн. собр. соч. в одном томе / Платон. - Москва: АЛЬФА-КНИГА, 2013 - 1311 с.

3. Аристотель. Никомахова этика / Аристотель. - Москва: Академический проект, 2011 - 320 с..

4.Чуешов, В.И. О некоторых старых философских уроках исследования предмета экономической науки и их современном смысле [Текст] / В.И. Чуешов // Проблемы современной экономики. - 2007. - № N 4 (24). - С. 1-3.

5. Малыхина, Г.И., Чуешов, В.И., Миськевич, В. И. Философия и методология науки / Г.И. Малыхина, В.И. Чуешов, В.И. Миськевич. - Минск: учреждение образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники", 2017 - 273 с.

6. Поланьи, К. Великая трансформация: политические и экономические истоки нашего времени / Поланьи, К.- Москва: Изд-во Института Гайдара, 2020 - 284 с.

7. Сен, А. Развитие как свобода / А. Сен. – Москва : Новое издательство, 2004. – 432 с.

8. Чуешов, В.И., Богатырева, В. В. Человеческий и социальный капитал как факторы экономического роста / В.И. Чуешов, В.В. Богатырева // Проблемы современной экономики. - 2020. - № N 2 (74). - С. 1-3.

ЭВОЛЮЦИЯ ПОНЯТИЯ ТЕХНИКИ И ЕЕ СОВРЕМЕННЫЕ ИНТЕРПРЕТАЦИИ

Русецкий А.Д., магистрант гр.476701

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Чуешов В.И. – доктор философских наук, профессор

Аннотация. В статье исследуется понятие техники и различные его интерпретации. Изучается философия техники как ключевая дисциплина современности, анализирующая взаимодействие человека, технологий и природы. Рассматривается историческая эволюция понятия «техника» – от античного «технэ» до современных сложных систем. Особое внимание уделено критике концепции органопроекции Эрнста Каппа и переходу к пониманию техники как многомерного феномена (устройства, деятельность, знание). Проведен сравнительный анализ западного (Хайдеггер, Эллюль) и восточного (дзен-буддизм, даосизм) подходов к технике. На примерах биохакинга и умных городов показано, как философия техники применяется в реальных инновационных проектах. Статья подчеркивает необходимость гуманистического подхода к технологиям, предлагая принципы устойчивого и ответственного развития.

Введение

В эпоху глобальной цифровизации и стремительного технологического прогресса философия техники приобретает особую значимость, выходя за рамки узкоспециальной дисциплины и становясь важнейшим элементом общественного самосознания. Техника сегодня – это не просто инструмент, а фундаментальный фактор, определяющий экономические, социальные и даже антропологические изменения. В связи с этим возникает необходимость не только в уточнении самого понятия техники, но и в осмыслении ее роли в современном мире, а также в прогнозировании возможных последствий ее развития.

Историческая эволюция понятия техники: от античности до промышленной революции

Понятие техники восходит к древнегреческому термину «технэ» (τέχνη), который обозначал искусство, мастерство или практическое умение. В трудах Платона и Аристотеля техника ассоциировалась прежде всего с ремесленной деятельностью – созданием предметов руками человека. Однако в античном мировоззрении техника не рассматривалась как нечто, способное радикально изменить природу или общество. Она воспринималась как вспомогательное средство, подчиненное естественному порядку вещей [1, 22 с.].

Интересно, что в античной философии существовало определенное противоречие в оценке техники. С одной стороны, она ценилась как проявление человеческого творчества (например, в строительстве или кораблестроении), с другой – некоторые философы, такие как Сократ, критиковали технические умения за их отрыв от истинного знания.

В средневековый период техника по-прежнему оставалась в тени теологических и натурфилософских дискуссий. Христианская традиция рассматривала мир как божественное творение, а потому любые искусственные изобретения человека воспринимались как нечто вторичное. Тем не менее, именно в Средние века начали появляться первые сложные механизмы, что постепенно меняло представление о возможностях человеческого разума.

Кардинальный перелом в восприятии техники произошел в XVIII–XIX веках, в эпоху промышленной революции. Изобретение парового двигателя, механизация производства и развитие транспорта привели к тому, что техника стала рассматриваться как ключевой фактор социально-экономического развития. В этот период сформировалось представление о технике как о продолжении человеческих способностей – идея, которая позже легла в основу концепции органопроекции [2, 13-18 с.].

Философия техники как самостоятельная дисциплина

Немецкий философ Эрнст Капп в своей работе «Основы философии техники» впервые систематизировал философское осмысление техники, введя сам термин «философия техники». Его концепция органопроекции утверждала, что технические изобретения являются внешним продолжением человеческих органов: молоток – продолжение кулака, телескоп – продолжение глаза и т. д. Однако уже в начале XX века эта теория столкнулась с критикой. Многие технические устройства не могли быть объяснены через простую аналогию с органами человека. Это привело к переосмыслению природы техники и поиску новых подходов.

С развитием кибернетики, электроники и компьютерных технологий техника перестала быть просто набором инструментов – она превратилась в сложную, саморазвивающуюся систему. Философы техники, такие как Мартин Хайдеггер и Хосе Ортега-и-Гассет, начали рассматривать ее как самостоятельную силу, способную трансформировать материальную и духовную жизнь общества.

Особую роль в этом процессе сыграла научно-техническая революция середины XX века, которая привела к появлению атомной энергетики, космических технологий, компьютерных систем и биотехнологий [3, 54 с.].

Современные проблемы философии техники

Одна из ключевых дилемм современности – противоречие между техническим прогрессом и экологической устойчивостью. С одной стороны, технологии позволяют решать глобальные проблемы (например, возобновляемая энергетика снижает зависимость от ископаемого топлива). С другой – массовое производство и цифровизация ведут к загрязнению окружающей среды, истощению ресурсов, нарушению естественных экосистем.

Философия техники ставит вопрос: можно ли создать такую модель технологического развития, которая не противоречила бы законам природы?

Споры о влиянии техники на человеческую сущность ведутся уже более века. Некоторые мыслители (например, Жак Эллюль) утверждают, что техника подчиняет себе человека, делая его зависимым от машин. Другие (такие как Рэй Курцвейл) видят в технологиях возможность для эволюционного скачка – например, через слияние с искусственным интеллектом.

Особую остроту этой проблеме придают развитие робототехники и автоматизации, распространение виртуальной реальности и эксперименты с генной инженерией.

Современные технологии (например, CRISPR-редактирование генома или автономные дроны) требуют четких этических рамок. Философия техники предлагает несколько принципов для оценки новых изобретений: принцип предосторожности, принцип гуманизма и принцип устойчивости [4, 72 с.].

Сравнительный анализ западной и восточной философии техники

В западной традиции (Хайдеггер, Эллюль, Хоркхаймер) техника чаще всего рассматривается как средство преобразования мира, подчинения природы человеческим целям. Мартин Хайдеггер в работе «Вопрос о технике» (1954) утверждает, что современная техника – это не просто инструмент, а способ «поставления», при котором природа раскрывается лишь как ресурс для эксплуатации.

Жак Эллюль в книге «Технологическое общество» (1954) идет дальше, заявляя, что техника стала автономной силой, диктующей человеку свои законы.

Критика технологического детерминизма выражается в том, что многие западные философы (например, Юрген Хабермас) предупреждают, что бездумное технократическое развитие ведет к дегуманизации.

В восточной философии техника часто воспринимается как часть природного баланса. Японская концепция «ваби-саби» подчеркивает эстетику несовершенства и естественности. Например, в робототехнике это выражается в создании андроидов, которые не копируют человека идеально, а сохраняют «человечность». Японские инженеры (например, создатели Toyota Production System) часто используют принципы осознанности и минимализма, избегая избыточной механизации.

В китайской философии «Дао», в отличие от западного стремления контролировать природу, техника должна «течь» вместе с естественными процессами.

Примеры применения философии техники в реальных проектах

Люди уже вживляют себе чипы (например, для открытия дверей или хранения данных). Но если биохакинг станет массовым, не приведет ли это к новому неравенству? Можно ли считать генетически модифицированного человека тем же видом, что и Homo sapiens?

В Сингапуре и Дубае ИИ управляет транспортом и энергосистемами. Из этого возникают вопросы о том, кто принимает решения – алгоритм или демократически избранные власти? Что будет, если система даст сбой?

Эти примеры показывают, что философия техники – живая и быстро развивающаяся дисциплина. Она должна отвечать на вызовы, которые еще даже не полностью проявились (например, сингулярность ИИ или квантовый разум). Возможно, в будущем появится новая ветвь – «философия посттехники», которая будет изучать мир, где граница между человеком и машиной исчезнет полностью.

Заключение

Понятие техники, в частности философия техники сегодня – это не просто теоретическая дисциплина, а важнейший инструмент для осмысления будущего. Ее задача – помочь обществу найти баланс между инновациями и традициями, прогрессом и стабильностью, искусственным и естественным.

В условиях, когда технологии развиваются быстрее, чем наша способность их осмыслить, философский анализ становится не просто полезным, а необходимым. Только через глубокое понимание природы техники человечество сможет направить ее развитие в безопасное и созидательное русло.

Список использованных источников:

1. Горохов, В. Г. Философия техники: учебное пособие / В. Г. Горохов. – Москва : ИНФРА-М, 2020. – 320 с.

2. Розин, В. М. Философия техники: от египетских пирамид до виртуальных реальностей / В. М. Розин. – Москва : URSS, 2018. – 256 с.

3. Шаповалов, В. Ф. Философия техники и технологии / В. Ф. Шаповалов. – Санкт-Петербург : Питер, 2019. – 288 с.

4. Капп, Э. Основы философии техники / Э. Капп ; пер. с нем. А. В. Гараджи. – Москва : ЛЕНАНД, 2017. – 200 с.

ФИЛОСОФСКИЙ АНАЛИЗ ПОНЯТИЯ “БОЛЬШИЕ ДАННЫЕ”

Ладкина М-И. И., магистрант гр.476701

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Чуешов В. И. – доктор философских наук, профессор

Работа исследует философию больших данных и их влияние на общество. Анализируются как положительные, так и критические взгляды на использование данных, поднимаются вопросы о причинности, свободе и праве на информацию. Обсуждаются риски, связанные с приватностью и этическими нормами, а также проблемы свободы и ответственности в контексте предсказательной аналитики. Подчеркивается необходимость критического осмысления влияния технологий больших данных на личную жизнь и общественные отношения, требующее участия ученых и практиков.

В последние десятилетия концепция больших данных (Big Data) не только завоевала популярность в научных и технологических кругах, но и стала важным аспектом современной экономики и социологии. Сбор, обработка и анализ огромных массивов информации открывают новые горизонты для понимания человеческого поведения и принятия решений как в бизнесе, так и в социальной сфере. Однако использование больших данных также поднимает важные философские вопросы, связанные с причинностью, свободой, ответственностью и правом на информацию. Эта статья посвящена исследованию философии больших данных, ее влиянию на различные аспекты общества и необходимым этическим размышлениям. Актуальность данной работы подчеркивается мнениями авторитетных исследователей. Например, Виктор Майер-Шенбергер и Кеннет Кукье в своей книге «Большие данные: новая экономика данных» утверждают, что «данные становятся новым источником конкурентного преимущества». Однако, несмотря на их положительное восприятие, существуют и критические взгляды на большие данные. Исследователь Эдвард Сноуден поднимает вопросы о приватности и этике, утверждая, что «большие данные могут использоваться для манипуляции и контроля». Эти противоречия подчеркивают необходимость глубокого анализа философских и этических аспектов, связанных с использованием больших данных.

Термин «большие данные» обозначает объемные и быстро изменяющиеся наборы данных, которые невозможно обработать традиционными методами.

Понятие «большие данные» охватывает три ключевых характеристики: объем (volume), скорость (velocity) и разнообразие (variety). В последние годы к этим характеристикам добавляются еще два аспекта: ценность (value) и достоверность (validity). Это расширение определения подчеркивает важность не только обработки, но и анализа данных с точки зрения их практического применения.

Данные поступают из различных источников, включая социальные сети, финансовые системы, медицинские учреждения и даже устройства Интернета вещей. Технологии больших данных позволяют не только собирать информацию, но и извлекать из нее полезные знания. Их применение охватывает широкий спектр сфер — от маркетинга до здравоохранения. Например, компании, такие как Amazon и Google, используют анализ данных для предсказания потребительского поведения, что повышает эффективность их бизнес-моделей. В области здравоохранения технологии больших данных помогают в диагностике и лечении заболеваний, анализируя большие объемы медицинских данных. Например, алгоритмы могут выявлять паттерны, которые недоступны традиционным методам анализа.

Тем не менее, несмотря на очевидные преимущества, использование больших данных также связано с рисками. Как отмечают такие лидеры, как Илон Маск и Билл Гейтс, технологии, основанные на больших данных, могут представлять угрозу человечеству, если они не будут контролироваться. Необходимо критически осмыслить влияние больших данных на личную жизнь, конфиденциальность и этические нормы, чтобы избежать потенциальных негативных последствий.

Философы и социологи активно обсуждают влияние больших данных на различные аспекты жизни. Это обсуждение включает в себя как технические, так и гуманитарные науки, что подчеркивает междисциплинарный характер проблемы. Важно отметить, что большие данные могут быть не просто инструментом для анализа, но и фактором, изменяющим саму природу человеческих взаимодействий.

Одним из ключевых вопросов философии больших данных является различие между причинностью и корреляцией. В традиционной науке причинность рассматривается как основа для построения теорий и объяснения явлений. Однако в контексте больших данных акцент смещается на корреляцию. Примером служит система предсказания распространения вируса гриппа, разработанная Google, которая использует поисковые запросы для определения очагов заболевания. Хотя система показала высокую точность, механизм связи между поисковыми запросами и распространением вируса остался неясным. Этот сдвиг в понимании вызывает множество вопросов о достоверности информации, получаемой из больших данных. В эпоху, когда алгоритмы могут выявлять связи между данными, важно помнить, что корреляция не всегда означает причинность. Использование алгоритмов для предсказания явлений может привести к ошибочным выводам, если не учитывать контекст и дополнительные факторы.

Значительная часть философского анализа больших данных имеет отношение еще к одной фундаментальной категории - понятию свободы. Вопрос свободы становится особенно актуальным в контексте предсказательной аналитики. Системы, использующие большие данные для прогнозирования преступности, могут привести к нарушению принципов правосудия. Например, применение алгоритмов, предсказывающих вероятность совершения преступления, может привести к наказанию за потенциальные действия, а не за фактические. Это поднимает вопросы о свободе воли и ответственности: кто несет ответственность за преступление, которое еще не совершено?

Развитие предсказательной аналитики должно ориентироваться на принципы самоконтроля, а не на усиление внешнего контроля. В случае высокой вероятности совершения преступления, субъект должен быть информирован анонимно, что даст ему возможность самостоятельно отреагировать. Это не уменьшит его ответственность, а наоборот, повысит её. Однако реализация самоконтроля сталкивается с трудностями, включая вопрос о субъекте, который обсуждается с момента концепции «смерти субъекта» Фуко. Возникает риск того, что под давлением дисциплинарных практик индивидуальность человека может исчезнуть.

Технологии больших данных также ставят вопросы о праве собственности на информацию. Пользователь Интернета производит определенные действия, например, делая запросы в поисковых системах или совершая покупки через интернет-магазины, информация об этих операциях в современном мире технологий представляет определенную ценность. Но кто является её законным владельцем? На первый взгляд кажется, что если эти данные отражают информацию о поведении людей, то собственниками этой информации должны быть пользователи, так как они сами являются ее производителями. Одновременно верно и то, что как минимум частично к созданию ценности этой информации имеет отношение службы сбора и хранения данных. Ну и наконец, система, извлекающая полезные знания из глобального массива данных, тоже должна рассматриваться как участник создания стоимости информации. Как справедливо заметил В. Майер-Шенбергер, существует необходимость в разработке новых подходов к правам на информацию, которые бы учитывали интересы пользователей. Текущая система часто не защищает пользователей, позволяя компаниям использовать их данные в коммерческих целях без должного контроля.

С развитием технологий и увеличением объемов собираемых данных проблемы раскрытия персональной информации становятся более актуальными. Современные технологии позволяют собирать огромные объемы данных о пользователях. Это включает в себя не только общую информацию, такую как имя и адрес, но и более чувствительные данные: местоположение, поведение в сети, финансовую информацию, медицинские записи и т. д. С точки зрения философии, личная информация формирует идентичность индивида. Концепция самости (self) включает в себя не только физические характеристики, но и внутренние мысли, чувства и действия. Когда личная информация становится объектом сбора и анализа, возникает угроза утраты контроля над собственным «Я». Это приводит к вопросу: «Что делает нас личностями, если наши данные могут быть манипулированы и интерпретированы другими?»

Философы, такие как Джон Стюарт Милль, подчеркивали важность свободы как основного условия для развития личности. Право на приватность является неотъемлемой частью этой свободы. В условиях, когда данные о нашей жизни собираются и анализируются, возникает вопрос: «Насколько свободен человек, если его действия наблюдаются и интерпретируются внешними силами?» Такое наблюдение может привести к саморегуляции, где индивиды начинают изменять свое поведение из-за страха перед оценкой. Это, в свою очередь, подрывает подлинную свободу выбора.

Таким образом, философия больших данных открывает новые горизонты для понимания сложных явлений, связанных с современным обществом. Тем не менее, с ростом влияния технологий больших данных возникает необходимость критического осмысления их воздействия на личную жизнь, этические нормы и правовые аспекты. Философский анализ должен стать неотъемлемой частью дискуссии о будущем больших данных, помогая выработать более осмысленные и этичные подходы к их использованию. Важно, чтобы ученые и практики активно участвовали в этих обсуждениях, осознавая как возможности, так и риски, связанные с большими данными.

Список использованных источников:

1 Майер-Шенбергер, В., Кукьер, К. Большие данные. Революция, которая изменит то, как мы живем, работаем и мыслим / В. Майер-Шенбергер, К. Кукьер ; пер. с англ. Инны Гайдюк. – М. : Манн, Иванов и Фербер, 2014. – 240 с.

2. Мартынова, М. Д. Благополучие человека через призму больших данных: этические риски и вызовы / М. Д. Мартынова // Социальные нормы и практики. – 2024. – № 3. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/blagopoluchie-cheloveka-cherez-prizmu-bolshih-dannyh-eticheskie-riski-i-vyzovy (Дата обращения: 24.12.2024).

3. Symons, J., Alvarado, R. Can We Trust Big Data? Applying Philosophy of Science to Software / J. Symons, R. Alvarado. – Big Data & Society. – 2016. – URL: https://doi.org/10.1177/2053951716664747 (Date of access: 23.12.2024).

4. Astleitner, H. We Have Big Data, But Do We Need Big Theory? Review-Based Remarks on an Emerging Problem in the Social Sciences / H. Astleitner. – Philosophy of the Social Sciences. – 2023. – Vol. 54. – P. 69–92. – URL: https://doi.org/10.1177/00483931231188825 (Date of access: 23.12.2024).

5. Климович, А. П. Вопросы философии больших данных / А. П. Климович // Инновации в науке. – 2018. – № 8 (84). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/voprosy-философии-больших-данных (Дата обращения: 24.12.2024).

УДК 316.6:128

СОЗНАНИЕ ЧЕЛОВЕКА КАК ОБЪЕКТ СОЦИАЛЬНО-ГУМАНИТАРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, РЕКЛАМЫ И ПИАР-МАНИПУЛЯЦИЙ

Морозова А.Н., магистрантка 415401

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники1
г. Минск, Республика Беларусь)

Малыхина Г.И. – канд. филос. наук

Аннотация. В статье рассматриваются механизмы воздействия на человеческое сознание с помощью современных социально-гуманитарных технологий, в частности рекламы и PR. Анализируется феномен манипуляции сознанием и подчеркивается актуальность философского осмысления данной проблематики в условиях цифровой эпохи.

Ключевые слова. Сознание, реклама, пиар, манипуляция, технологии, массовая культура, социогуманитарная технология.

Сознание традиционно рассматривалось в философии как способность человека к саморефлексии, свободному выбору, критическому мышлению. Для Иммануила Канта сознание неразрывно связано с моральной автономией субъекта. В «Критике практического разума» он подчеркивает, что человек как разумное существо обладает способностью действовать согласно нравственному закону, свободно, а не под влиянием внешних обстоятельств. Эта внутренняя свобода – фундамент морали и достоинства личности.

Однако в эпоху массовой информации происходит радикальное смещение акцентов: вместо стремления к истине и самопознанию сознание всё чаще становится объектом внешнего управления. В этом смысле социально-гуманитарные технологии и реклама угрожают той самой автономии, о которой говорил Кант, подменяя нравственный выбор навязанными стимулами и имитацией свободы [5].

Ж.-П. Сартр и М. Фуко подчеркивали, что власть над сознанием – это наивысшая форма власти. В этом контексте реклама и PR не просто информируют – они формируют предпочтения, вкусы, желания, зачастую незаметно для самого индивида. «Всякий вопрос – радость, всякий ответ – утрата» – всем известно, что истинный философ проводит жизнь не за поиском ответов, а за поиском вопросов [1]. Именно этот аспект и является основным отличием философии и науки в узком смысле этого слова: ученые ищут ответы на вопросы, поставленные им философами.

Современная реклама использует не столько рациональные доводы, сколько эмоциональные и визуальные стимулы. Визуальные образы, ассоциативные ряды, скрытые смыслы – всё это направлено на создание нужных ассоциаций и автоматизмов поведения.

PR-манипуляции действуют более тонко: они формируют общественное мнение через подачу информации в выгодном контексте, контроль над повесткой, внедрение нарративов. Н. Хомски считает, «согласие создается» не через принуждение, а через систематическое влияние на рамки мышления.

С развитием интернета и особенно социальных сетей появляется возможность персонализированного воздействия. Алгоритмы предсказывают поведение пользователей и формируют для них информационные пузыри, ограничивая доступ к альтернативным точкам зрения.

Сознание всё чаще оказывается в замкнутой среде, где укрепляются уже существующие установки. Таким образом, речь идет не просто о манипуляции, а о конструировании субъективной реальности, в которой живет индивид.

Современная наука всё чаще выполняет не только познавательную, но и социокультурную функцию. Философия науки рассматривается как средство критического анализа направлений научного знания, а также как инструмент оценки его воздействия на общество и личность [2]. В контексте социальных технологий и PR это означает, что научные открытия и технологии часто становятся основой для формирования определённых образов и установок в массовом сознании. Тем самым возникает необходимость в развитии философской рефлексии и медийной грамотности – как способов сопротивления манипулятивному использованию науки в интересах власти или бизнеса.

Манипулятивное воздействие ставит под угрозу такие ценности, как автономия личности, свобода воли, подлинность выбора. Возникает парадокс: чем более человек осведомлен, тем менее он свободен, если эта “осведомленность” направлена искажённым образом.

Философия, следовательно, должна не только выявлять механизмы влияния, но и способствовать развитию критического мышления, медийной грамотности, рефлексии.

Как отмечает А.Н. Ильин, реклама в современном обществе перестала быть исключительно инструментом продаж: она стала фактором трансформации массового сознания [1]. Эмоциональное воздействие, ассоциации, подсознательные импульсы — всё это работает на формирование установок и желаемых поведенческих реакций.

В связи с этим, ,Кретова Н.Н. подчёркивает, что эффективность манипулятивных стратегий в рекламе напрямую зависит от знания психологических уязвимостей аудитории. На фоне снижения критического восприятия информации у потребителей усиливается влияние скрытых убеждающих посылов, маскирующихся под нейтральную или даже полезную информацию [3].

Таким образом, воздействие рекламы и PR-стратегий на сознание современного человека приобретает системный характер. Создаваемая медиа-среда формирует специфическое поле восприятия, в котором теряются ориентиры нравственности, ответственности и критического мышления. В условиях такой среды человек всё чаще оказывается объектом, а не субъектом коммуникации.

Подчёркивая необходимость философской рефлексии в условиях медийного давления, В.Н. Верхоглазенко говорит о трансформации общественного сознания в направлении имитационной активности. Иными словами, под воздействием внешних социальных и медийных импульсов человек лишь имитирует самостоятельность выбора, тогда как его мотивации сконструированы извне [4].

Сознание в современном мире – это не просто внутренний мир человека, но и поле борьбы за влияние. Реклама, PR и цифровые технологии становятся новыми формами господства, замаскированными под заботу о комфорте и свободе выбора.

Иммануил Кант в своей философии подчёркивает исключительную роль автономии личности, рассматривая её как основу нравственного закона. В «Критике практического разума» : «Поступай так, чтобы максима твоей воли могла бы быть всеобщим законом» [5]. Это категорическое императивное утверждение подчеркивает необходимость универсальности и внутренней морали в действиях субъекта.

Кант различал феномены (вещи как они нам являются) и ноумены (вещи сами по себе), как известно, в «Критике практического разума», что человек как нравственное существо принадлежит к миру ноуменов. Следовательно, моральная свобода и сознание не подчинены причинности физического мира, а определяются разумом и должествованием.

Особую опасность манипуляции сознанием Кант видел бы в том, что они подрывают автономию субъекта, навязывая ему внешние цели, чуждые его разуму и долгу. Такое воздействие превращает человека из цели в средство — что прямо противоречит знаменитой формулировке Канта: «Человек должен всегда рассматриваться как цель и никогда как средство» [5].

С позиции Канта, свобода как способность действовать согласно моральному закону становится критерием подлинной человечности. Утрата этой способности под воздействием манипуляций ведет к утрате автономии субъекта и подлинной ответственности. Таким образом, философия, следуя кантианской традиции, должна не только выявлять механизмы внешнего давления, но и укреплять способность личности к моральному самоуправлению – как главную защиту от социального и информационного подчинения.

Список использованных источников:

1. Ильин А.Н. Психологическая манипуляция в рекламе как фактор изменения сознания в обществе потребления // Психопедагогика в правоохранительных органах. – 2023. – №1(92).

2 Малыхина, Г. И. Философия и методология науки : учеб. пособие / Г. И. Малыхина, В. И. Чуешов, В. И. Миськевич. - Минск : БГУИР, 2017.

3 Кретова Н.Н. Использование психологических приёмов манипуляции в рекламе // Вестник Челябинского государственного университета. – 2015. – № 6 (366).

4.Верхоглазенко В.Н. Общественное сознание как объект манипуляции // Живая психология. – 2015. – Т. 2, № 3.

5. Кант, И. Критика практического разума / И. Кант ; пер. с нем. Н. А. Чайковского. — М. : Мысль, 1994. — 270 с.

UDC 316.6:128

HUMAN CONSCIOUSNESS AS AN OBJECT OF SOCIO-HUMANITARIAN TECHNOLOGIES, ADVERTISING AND PR MANIPULATIONS

Morozova A.N.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics1, Minsk, Republic of Belarus

Malykhina G.I. – PhD in Philosophy

Annotation. This paper examines the mechanisms of influence on human consciousness through modern socio-humanitarian technologies, including advertising and public relations. It explores how manipulative strategies affect individual autonomy, critical thinking, and moral responsibility, emphasizing the need for philosophical reflection in the digital age.

Keywords. Consciousness, advertising, PR, manipulation, technology, mass culture, media influence, philosophy.

МЕЖДУ СВОБОДОЙ ОТ И СВОБОДОЙ ДЛЯ

Протько М.А.[1], магистрант гр.455801

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Чуешов В.И. – профессор, доктор фил.наук

Рассматривается свобода как философская категория, анализируется свобода для и свобода от в совмещении с понятиями, введенными Фроммом, такими как позитивная и негативная свобода. Дается определение свободы, коррелирующее с началом индустриализма, начавшегося в 18-ом веке.

Нынешняя цивилизация движется по направлению индустриализации. Люди изо дня в день совершенствуют свои процессы, автоматизируют их. В сознании большинства утвердились идеи позитивизма, которые позволяют приписывать всему окружающему цену [1]. Факторы богатства в капиталистическом обществе являются аналогом благосостояния не только одного человека, но и всего общества [2]. Но счастлив ли благосостоятельный человек, или ему для полной картины может не хватать свободы?

Данная тема актуальна как никогда, ведь еще в начале прошлого столетия была замечена следующая закономерность: чем больше «свободы» получали люди вокруг, тем несчастнее они становились. Одним словом: «мы как зачарованные следим за бешеным ростом свободы от каких-либо внешних сил, и, как слепые, не видим всех тех внутренних принуждений и страхов, которые ставят под сомнение все завоевания свободы, все ее победы над извечными врагами» [3]. Важен не только количественный аспект, но и качественный. А он, по мнению Фромма заключается в критическом мышлении и осознанием человеком своей собственной индивидуальности и личности (а в последствии и свободы). Если человек откажется от этого процесса самопознания, он отправиться в путь «бегства», что не даст ему никакого удовлетворения, а будет лишь временным решением. От того, что выбор был не сделал, само наличие выбора не исчезает. Поэтому понятие свободы и ее осознания будет актуально как никогда, ведь именно от него зависит человеческое счастье, а счастливым мечтает быть каждый.

Фромм определяет свободу как наличие у человека индивидуальности, а именно отрешённости от всего остального мира (определяет через сепарацию ребенка и матери [3]).

«Свобода от» и «свобода для» имеют весьма прямолинейную трактовку: в первом случае понимается избавление от принуждения и обязательство (свобода от рабства, свобода крепостных), во втором – возникновение возможности и нового блага: свобода выбора, свобода вероисповедания. По Фромму, в начале возникает «свобода от» – посредством чаще всего революционных преобразований после избавления от угнетателя свободы, возникает новая «свобода для» – те права и возможности человека, которые развеваются вместе с обществом.

Свобода, которую обрел человек после накопления достаточного количества благ привела к тому, что появился выбор. Не только в том, что купить, поесть и куда пойти, но и выбор своей судьбы: в отличие от каких-то предрешенных параметров, в средние века определявших благосостояние, в современном мире (и начиная с эпохи Реформации по Фромму) благосостояние напрямую зависит от личностных качеств человека, который пытается это благосостояние найти. У любого появилась возможность стать как невероятно богатым, так и невероятно бедным, а с данным выбором пришли страх, ничтожество, неопределенность, одиночество и тревожность – все те понятия, что Фромм ассоциирует с негативной свободой. Как говорится: «В эпоху машин человек страшится быть лишенным человечности своими собственными руками» [4]

Пытаясь «освободиться от» (получив негативную свободу), люди не заметили новых «свобод для», ведь: «Не имеет никакого смысла, чтобы никто не мешал выражению мысли человека, пока он, человек, не научится мыслить оригинально, отлично от всех остальных» [3].

По итогу наличие только негативной свободы («свободы от» - абсолютная свобода выбора) приводит к тому, что «прямые связи индивидуума с себе подобными утратили первоначальный смысл, приобрели характер взаимных манипуляций, где человек выступает всего лишь как средство» [3].

Капитализм и рыночные отношения привнесли в самосознание индивидуума такое понятие как собственная ценность. Причем ценность в экономическом плане – она зависит от заинтересованности других. То есть, в современном обществе человек рассматривает себя как объект, который можно улучшить, поменять и изменить под нужны других. Причем индивидуум на каждое изменение считает, что он сделал его по своей воле, своим принципам и для его же собственного блага, причем совершенно забывая, что же для него «благо» (а точнее, относительно кого и чего он это рассчитывает. В почти каждом случае, для современного человека – отсутствие общественного порицания при наличии всеобщего внимания (вспомним о бумах социальных сетей) – наивысшее благо).

Индивидуум старающийся существовать согласно этим ценностям, получает выгоду ради выгоды. Но он не знает, куда эту выгоду применить. Таким образом, «свобода от» способна дать индивидууму только негативную свободу.

«Если человек не может перейти от свободы негативной к свободе позитивной, он всяческими способами пытается избавиться от всякой свободы вообще. Основные тропы, которые выбирает человек в своем стремлении убежать от свободы, - это полное подчинение какому-либо вождю … или же вынужденное соглашательство, сглаживание различий, расхождений, стремление к однообразию и единомыслию…» [3]. Иными словами, получается ситуация, когда при равноправии всех участников, от которым предполагается сделать выбор, выбор не совершается никем («негативная свобода делает человека рабом» [3]).

Рассматривая далее рассуждения Беттельхейма [4], которые во многом совпадают своими выводами с Фроммом, можно сделать следующее заключение: рассматривая максимально экстремальную ситуацию человеческого существования (где задача власти стояла прямо противоположная – отнять у человека все), можно положить, что свобода воли напрямую влияет на осознание человеком своей индивидуальности. В понимании Беттельхейма, когда нет свободы воли (свободы выбора), человек уподобляется ребенку, который невероятно послушен и которому свойственно уныние и отсутствие инициативы.

Говоря о сложности идеи свободы, Гегель писал: «Ни об одной идее нельзя с таким полным правом сказать, что она неопределенна, многозначна, доступна величайшим недоразумениям и потому действительно им подвержена, как об идее свободы». Но несмотря на это, все же возможно определить минимально возможную свободу для человека, которая будет относиться к любому индивидууму, где бы он не находился. Данная свобода отличается от свободы воли, финансовой свободы, свободы печати и цензуры – согласно вышеописанным пунктам, она определена гораздо глубже и походит на богословское понятие «свободы духа».

«Выбор отношения к происходящему» является той самой минимальной единицей, из которой можно выделить все остальные (свобода воли, свобода действия и т.д.). Данная «свобода» соотносится с позитивной свободой, которая определяется Фроммом через осознанные действия индивидуума по отношению к самому себе. Ведь как иначе индивидуум воспользуется привилегиями своей свободы, если он изначально не может осознать, чего был лишен и чего он хочет?

«Выбор отношения к происходящему» не приводит к обезличенности, потому как «при любой деятельности, в которой присутствует налет спонтанности,» - а мы можем считать реакцию человека на происходящее достаточно спонтанной, учитывая индивидуальные физические и психические особенности человека и уровень его осознанности на момент спонтанного действия - «человек соединяется с миром. Но его личность не только не утрачивает своей уникальности, но и становится еще более многогранной. Ибо сила любой личности в ее деятельности» [3]. К примеру, из [4] «осознание собственных поступков не могло их изменить, но их оценка давала какую-то внутреннюю свободу и помогала узнику оставаться человеком» - в контексте книги, «остаться человеком» означает не сойти с ума («стать мусульманином»).

«Разумеется, необходимо защищать и отстаивать каждую из уже завоеванных свобод, необходимо их сохранять и развивать, но вместе с тем, не стоит останавливаться на достигнутом, надо идти вперед, завоевывать новую свободу иного типа: такую свободу, которая даст человеку шанс реализовать свою личность, поверить в себя и в жизнь в целом» [3], поскольку без последней позитивная свобода не будет доступна, а от негативной человек откажется из-за отсутствия инструментов противостояния страху, тревоге и осознанию собственной ничтожности.

Исходя из этого, можно также сделать вывод, что «самостоятельное существование начинается со способности наблюдать и делать собственные выводы» [3] и «… что важен не конечный результат, а сам процесс деятельности. Почему-то в современном обществе принято совершенно противоположное положение» [3].

Список использованных источников:

1. В.И. Чуешов: Введение в современную философию: Учебн. Пособие /В.И. Чуешов, З.И. Дунченко, О.И. Чеснокова – Мн. НТООО «ТетраСистемс», 1997. -128 с. ISBN 985-6317-27-4

2. .Чуешов, В.И. Антропологический капитал как фактор государственного строительства / В.И.Чуешов.- Материалы Межвузовской заочной научной конференции с международным участием «Личность и об-щество в XXI веке: концепции и тенденции развития» [Электронный ре-сурс].- http://orf-uff.org.ua /index. php/ 2011-01-29-11-14-42/74-slavjansk-poltava-doklady. - Дата доступа:30.10.2014. - 10 с.

3. Эрих Фромм – Бегство от свободы; Человек для себя/ Пер. с англ. Д.Н. Дудинский. – Мн.: ООО «Попурри», 1998. - 627 с. ISBN 985-428-146-3.

4. Бруно Беттельхейм: Просвещенное сердце // издательство Миф, 448 с. 2024 ISBN: 978-5-00214-446-4

ЧЕЛОВЕК В ФИЛОСОФИИ ЭКЗИСТЕНЦИАЛИЗМА: ПЕРЕЖИВАНИЯ И КРИЗИСЫ КАК ПУТЬ СТАНОВЛЕНИЯ ЛИЧНОСТИ

Хатеневич А.А., магистрант гр.455801

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники[1]
г. Минск, Республика Беларусь

Чуешов В.И. – доктор. философских наук, профессор

Аннотация. В тезисах приведена информация о понятии философии экзистенциализма, перечислены его основные идеи и самые яркие представители данного направления. В данных тезисах обращено внимание на такие детали философии экзистенциализма как переживания и кризисы в жизни человека.

Ключевые слова. экзистенциализм, Ясперс, Хайдеггер.

Экзистенциализм – это философское направление, акцентирующее внимание на уникальность человеческого существования, свободу, понятие ответственности и поиск смысла [1]. Карл Ясперс и Мартин Хайдеггер являются одними из самых значимых представителей экзистенциализма, однако их подходы к вопросу экзистенциализма довольно сильно различались.

Экзистенциализм развивался параллельно родственным направлениям персонализма и философской антропологии, а главным его отличием от данных направлений является больший акцент на глубину эмоциональной природы и идея преодоления, а не раскрытия, человеком собственной сущности. Согласно экзистенциальному психологу и психотерапевту Ролло Рис Мэю, экзистенциализм – это не просто философское направление, а, скорее, культурное движение, запечатлевающее глубокое эмоциональное и духовное измерение современного человека, изображающее психологическую ситуацию, в которой он находится, выражение уникальных психологических трудностей, с которыми он сталкивается. К основным чертам экзистенциализма можно причислить:

– первичность существования (экзистенции) над сущностью;
– анализ пограничных ситуаций (смерть, страдание, вина), обнажающих подлинное бытие;
– свобода и ответственность как основа человеческого существования;
– критика обезличенности в массовом обществе;

В философии экзистенциализма Карла Ясперса центральным понятием является экзистенция – ядро человеческого бытия, не поддающееся объективному познанию, и коммуникация – условие подлинного существования: истина раскрывается в диалоге. Критерий подлинности раскрывается через пограничные ситуации – моменты, когда человек осознает свою конечность и необходимость выбора. Ясперс представитель так называемого «религиозного экзистенциализма» и он размышляет о трансценденции как о способе выхода за пределы наличного бытия к Богу или абсолюту [2].

Мартин Хайдеггер в свою очередь берет за основу своей философии так называемое Dasein («бытие-вот») – человеческое существование как вопрошание о бытии. Подлинность у данного философа раскрывается через бытие-к-смерти – осознание смертности делает существование подлинным. Из-за того, что Мартин Хайдеггер был представителем «атеистического экзистенциализма» роль Бога в его философии вторична. К основными идеям его философии также можно причислить: заброшенность – человек не выбирает свое исходное положение в мире, неподлинное существование – жизнь в соответствии с нормами Das Man и время как фундаментальная структура Dasein: прошлое, настоящее и будущее в единстве.

Согласно трудам таких представителей экзистенциализма, как Сартр, Хайдеггер, Ясперс, Камю, обыденная жизнь часто погружает человека в "неподлинное существование" — рутину, социальные условности, бегство от свободы. Переживания (страх, тревога, отчаяние, тоска) вырывают человека из этого автоматизма и заставляют задуматься о смысле бытия. Кризисы (экзистенциальные, духовные, жизненные) в экзистенциализме — это не просто трудности, а поворотные точки, где человек сталкивается с абсурдом, смертью, одиночеством и необходимостью самоопределения.

Экзистенциализм не романтизирует страдания, но видит в них катализатор роста. Кризис разрушает ложные ценности, заставляя человека: осознать свою свободу (нет "готовых" смыслов, их нужно создавать), принять ответственность за свою жизнь (даже в условиях абсурда), выбрать путь подлинного существования (вопреки внешним обстоятельствам).

Список использованных источников:

1. Чуешов В.И., Введение в современную философию: [учебное пособие для вузов] / В.И. Чуешов, З.И. Дунченко, О.И. Чеснокова. – Изд. 2-е, испр. – Минск: ТетраСистемс, 1998. – 124 с.

2. Петропавловская М.А., Экзистенция как решение моральной проблемы выбора способа бытия в философии Карла Ясперса // Дискурсы этики. – 2023. – №4. – С. 35 – 54.

УДК 14:37.018.43

ФИЛОСОВСКИЕ АСПЕКТЫ ДИСТАНЦИОННОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Мосендз А.В. магистрант гр.476701

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Чуешов В.И. – доктор философских наук, профессор кафедры философии

Аннотация. В данной работе исследуется роль философии в контексте дистанционного образования, акцентируя внимание на влиянии новых образовательных практик на личность и общество. Пандемия COVID-19 ускорила переход к онлайн-обучению, что потребовало переосмысления философских основ образовательного процесса. Анализируются исторические корни философии образования, начиная с античности и до современности, включая подходы платонизма, эмпиризма, конструктивизма, прогрессивизма и критической педагогики. Рассматриваются этические аспекты общения в виртуальной среде, особенности коммуникации и изменения в роли преподавателя. Работа подчеркивает важность интеграции философских принципов и современных технологий для создания инклюзивной и эффективной образовательной системы.

Ключевые слова: дистанционное образование, философия образования, платонизм, эмпиризм, конструктивизм, прогрессивизм, критическая педагогика, социальная ответственность.

В современном мире, где информационные технологии стремительно развиваются, дистанционное образование становится все более актуальным. Философия в этом контексте играет ключевую роль, так как она позволяет осмыслить не только сам процесс обучения, но и его влияние на личность, общество и культуру. Актуальность темы "Философия в дистанционном образовании" заключается в необходимости глубокого анализа новых образовательных практик, которые формируют не только знания, но и мировоззрение студентов. Переход к дистанционному обучению, ускоренный пандемией COVID-19, заставил многих педагогов и ученых переосмыслить философские основы образовательного процесса, а также его этические и социальные аспекты.

Философия образования имеет глубокие исторические корни, уходящие в античность, когда мыслители, такие как Сократ, Платон и Аристотель, начали осмысливать природу знания, обучения и воспитания. Эти ранние философы заложили основы для дальнейшего развития образовательной мысли, акцентируя внимание на важности критического мышления и самопознания.

В античности образование рассматривалось как средство формирования гражданина, способного участвовать в общественной жизни. Платон в своем диалоге "Государство" описывал идеальное общество, в котором образование играет центральную роль в воспитании философов-правителей. Аристотель подчеркивал важность практического опыта и наблюдения в процессе обучения, утверждая, что "знание начинается с восприятия"[1]. В Средневековье философия образования была тесно связана с религиозными учениями, где философы, такие как Августин и Фома Аквинский, интегрировали христианскую теологию с античной философией, утверждая, что "истинное знание приходит через божественное откровение и разум"[1].

С наступлением Эпохи Просвещения в XVIII веке философия образования претерпела значительные изменения. Мыслители, такие как Джон Локк и Жан-Жак Руссо, начали акцентировать внимание на индивидуальных правах и свободах, а также на значении воспитания в формировании личности. Локк подчеркивал, что "ум человека подобен чистой доске, на которой опыт оставляет свои следы", что стало основой для эмпирической педагогики [1]. Руссо, в свою очередь, выступал за естественное воспитание, утверждая, что "образование должно соответствовать естественным этапам развития ребенка".

В XIX веке философия образования продолжала развиваться, и на первый план вышли идеи прогрессивного образования, представленные такими мыслителями, как Джон Дьюи. Дьюи утверждал, что "образование должно быть связано с жизненным опытом и практической деятельностью", что способствовало формированию критического мышления и социальной ответственности у студентов. Его идеи легли в основу современных подходов к обучению, включая проектное и проблемное обучение.

В XX веке философия образования стала более разнообразной, включая различные теории и подходы, такие как конструктивизм, критическая педагогика и феминистская педагогика. Эти направления акцентируют внимание на социальной справедливости, равенстве и необходимости учитывать культурные контексты в образовательном процессе.

Философские подходы к обучению формируют основу для понимания целей, методов и содержания образовательного процесса. В контексте дистанционного образования эти подходы становятся особенно актуальными, так как они помогают осмыслить, как технологии влияют на обучение и взаимодействие между участниками образовательного процесса. Рассмотрим основные философские подходы, которые влияют на современные образовательные практики.

1 Платонизм, основанный на учениях Платона, акцентирует внимание на идее идеального знания и роли философа как учителя. В контексте дистанционного образования этот подход подчеркивает важность теоретической базы и критического мышления. Платон считал, что обучение должно быть направлено на развитие разума и понимание высших истин, что актуально и для онлайн-курсов, где студенты могут исследовать философские концепции через различные ресурсы и дискуссии [2].

2 Эмпиризм, представленный такими философами, как Джон Локк, утверждает, что знание приходит через опыт и наблюдение. В дистанционном обучении этот подход находит свое отражение в практических заданиях и проектах, которые позволяют студентам применять теоретические знания на практике. Эмпирический подход способствует активному обучению, где студенты становятся участниками процесса, а не просто пассивными слушателями [2].

3 Конструктивизм, развиваемый такими мыслителями, как Жан Пиаже и Лев Выготский, акцентирует внимание на том, что знание создается в процессе взаимодействия с окружающим миром. В дистанционном образовании конструктивистский подход проявляется в использовании интерактивных технологий, которые способствуют совместному обучению и обмену опытом между студентами. Это позволяет создавать более глубокое понимание материала и развивать критическое мышление [3].

4 Прогрессивизм, представленный Джоном Дьюи, подчеркивает важность обучения через опыт и активное участие студентов в образовательном процессе. Дьюи утверждал, что образование должно быть связано с реальной жизнью и проблемами общества. В условиях дистанционного обучения прогрессивизм находит свое выражение в проектной деятельности и проблемном обучении, где студенты работают над реальными задачами и проектами, что делает обучение более значимым и актуальным[3].

5 Критическая педагогика, развиваемая такими учеными, как Пауло Фрейре, акцентирует внимание на социальной справедливости и необходимости критического анализа образовательных практик. Этот подход подчеркивает важность осознания социальных и культурных контекстов, в которых происходит обучение. В дистанционном образовании критическая педагогика может быть реализована через обсуждение социальных вопросов и проблем, что способствует формированию у студентов критического мышления и социальной ответственности.

Философские аспекты взаимодействия в дистанционном обучении охватывают широкий спектр вопросов, связанных с этикой, коммуникацией, а также изменениями в образовательной среде. В условиях онлайн-обучения возникают новые вызовы и возможности, которые требуют переосмысления традиционных подходов к обучению и взаимодействию.

Одним из ключевых философских вопросов является этика общения в дистанционном обучении. Виртуальная среда требует от участников соблюдения новых норм и правил взаимодействия. Исследования показывают, что этика общения в онлайн-образовании должна учитывать специфику виртуальной коммуникации, где отсутствуют невербальные сигналы, что может привести к недопониманию и конфликтам [4]. Важно разработать и внедрить этические нормы, которые будут способствовать созданию безопасной и поддерживающей образовательной среды.

Философские аспекты взаимодействия также включают в себя анализ коммуникативных практик в дистанционном обучении. Коммуникация в онлайн-формате имеет свои особенности, такие как асинхронность и возможность использования различных медиаформатов. Это создает новые возможности для взаимодействия, но также требует от участников высокой степени саморегуляции и ответственности [5]. Важно, чтобы преподаватели и студенты осознавали эти особенности и адаптировали свои подходы к общению.

В дистанционном обучении меняется и роль преподавателя. Преподаватели становятся не только источниками знаний, но и модераторами образовательного процесса, которые должны создавать условия для активного участия студентов. Это требует от них новых навыков, таких как умение управлять групповой динамикой и поддерживать мотивацию студентов в виртуальной среде. Философский подход к этой проблеме включает в себя переосмысление роли преподавателя как фасилитатора, который помогает студентам развивать критическое мышление и самостоятельность.

Дистанционное обучение также влияет на образовательные ценности, такие как доступность и инклюзивность. Философские размышления о том, как технологии могут способствовать или препятствовать равному доступу к образованию, становятся особенно актуальными. Важно учитывать, что не все студенты имеют равные возможности для участия в онлайн-обучении, что может привести к углублению существующих неравенств [6].

Дистанционное образование является важной и современной формой обучения, обеспечивающей доступность, гибкость и экономичность образовательного процесса. Оно позволяет студентам обучаться без необходимости физического присутствия, что особенно актуально для людей с ограничениями по времени или месту. Анализ исторического контекста философии образования и основных философских подходов, таких как платонизм, эмпиризм, конструктивизм, прогрессивизм и критическая педагогика, подчеркивает их значимость в формировании образовательных ценностей и адаптации практик к современным вызовам. Эти подходы способствуют развитию критического мышления и социальной ответственности, что особенно актуально в условиях дистанционного образования. Философские

аспекты взаимодействия в дистанционном обучении требуют переосмысления традиционных подходов и акцентируют внимание на этических нормах общения, уникальных коммуникативных практиках и изменении роли преподавателя как фасилитатора. Понимание этих аспектов способствует созданию более эффективных и инклюзивных образовательных практик в онлайн-среде. В итоге, интеграция философских основ и современных технологий в дистанционном образовании является ключом к созданию успешной и адаптивной образовательной системы, отвечающей требованиям времени.

Список литературы

1 Гуревич, П. С. Философия и история образования. От Античности до эпохи Просвещения : учебное пособие для академического бакалавриата / П. С. Гуревич, О. К. Филатов. — Москва : Юрайт, 2018. — 363 с.

2 Кислов, А. Г. Философские подходы к образованию [Электронный ресурс] / А. Г. Кислов. — Екатеринбург, [б. г.]. — URL: https://www.academia.edu/23434876/ФИЛОСОФСКИЕ_ПОДХОДЫ_К_ОБРАЗОВАНИЮ_ЧЕЛОВЕКА.

3 Бурнашев, Р. Ф. Роль философии в формировании ценностных ориентиров в современном образовании / Р. Ф. Бурнашев, Н. М. Махмуджонова // Universum: общественные науки : электронный научный журнал. — 2024. — № 3(106). — С. 27–31.

4 Авдеева, И. А. Этические аспекты организации коммуникативного пространства в онлайн-образовании / И. А. Авдеева // Философия и общество. — 2021. — № 2(99). — С. 81–90.

5 Климов, С. Н. Философские аспекты коммуникативных практик в современной российской высшей школе / С. Н. Климов, П. И. Вермишова // Журнал философских исследований. — 2020. — № 2. — С. 98–103.

6 Чуешов, В. И. Старые и новые технологии в образовании : монография / В. И. Чуешов. — Минск : БГУИР, 2024. — 117 – 119 с.

UDC 14:37.018.43

PHILOSOPHICAL ASPECTS OF DISTANCE EDUCATION

Mosendz A.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Chueshov V.I. – Doctor of Philosophy, Professor of the Department of Philosophy

Annotation. This paper investigates the role of philosophy in the context of distance education, focusing on the impact of new educational practices on individuals and society. The COVID-19 pandemic accelerated the transition to online learning, necessitating a rethinking of the philosophical foundations of the educational process. The historical roots of the philosophy of education are analyzed, from antiquity to the present, including the approaches of Platonism, Empiricism, Constructivism, Progressivism, and Critical Pedagogy. Ethical aspects of communication in the virtual environment, features of communication, and changes in the role of the teacher are discussed. The work emphasizes the importance of integrating philosophical principles and modern technologies to create an inclusive and effective educational system.

Keywords: distance education, philosophy of education, platonism, empiricism, constructivism, progressivism, critical pedagogy, social responsibility.

УДК 128

ПРОБЛЕМА ЖИЗНИ И СМЕРТИ В КОНТЕКСТЕ МЕДИЦИНСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И БИОЭТИКИ

Будник В.С.[1], магистрант группы 446901

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники[1]
г. Минск, Республика Беларусь

Малыхина Г.И. – канд. филос. наук, доцент

Аннотация. В данной статье раскрывается содержание проблемы жизни и смерти в контексте биоэтики. Исследованы её определение, предмет изучения, история развития, проблематика, мировоззренческие основания. Рассматривается эволюция концепции смерти мозга в медицине. Описаны первоначальный (кардиоцентрированный) и современный (смерть мозга) критерии смерти, история их возникновения и развития, закрепление в законодательстве. Анализируется философское (онтологическое, эпистемологическое и этическое) содержание проблемы смерти мозга.

Ключевые слова. Биоэтика, медицина, критерии смерти, смерть мозга, врачебный консилиум, профессиональные стандарты.

Проблема жизни и смерти во все времена привлекает к себе особое внимание со стороны философов из-за своей нетленности, важности и многогранности. Смерть, являющаяся одним из важнейших событий жизни, неизменно находится в центре внимания философии. Актуальность темы смерти как для философии, так и для обыденного сознания определяется тем, что решение важнейших вопросов о смысле жизни в конечном счёте зависит от того, как осмысливаются взаимоотношения человека со смертью. Любой зрелый человек рано или поздно начинает размышлять об ограниченности срока своего пребывания в мире и о совершённых в течение жизни поступках.

Необходимость историко-философского освещения проблемы отношения человека к смерти (в том числе, и страха смерти как экзистенциального измерения человеческого бытия) определяется особенностями развития постиндустриального общества, тенденциями развития современной духовной и материальной культуры. Практики современной интенсивной терапии, реаниматологии подчас оборачиваются парадоксальными результатами, когда в одних случаях граница жизни и смерти оказывается неопределённой (длительный процесс смерти мозга), в других – процесс умирания искусственно затягивается (вегетативное состояние). В контексте названных биотехнологических практик вновь возникает потребность философского осмысления бытия человека (в онтологическом, антропологическом, этическом и других аспектах). В условиях оказания современной медицинской помощи умирающим этический принцип безусловного уважения жизни человека трансформируется в этический принцип права пациента на достойную смерть, в силу чего представляется актуальной историко-философская проработка этого философского концепта [1, с. 3–4].

Наиболее значительные изменения в обсуждении темы смерти происходят в рамках биоэтики – сравнительно молодой дисциплины, которая сосредоточена преимущественно на выработке стратегий ненасильственного разрешения конфликтов, возникающих в области медицины и биологических исследований, касающихся важнейших для человека вопросов жизни и смерти [2]. Также можно обозначить, что биоэтика – это соединение системы биологического знания с познанием системы человеческих ценностей [3, с. 7].

Каким же образом междисциплинарно выстраивается биоэтика? С одной стороны, в названии присутствует слово «этика». Этика – философская наука, объектом которой является мораль как форма общественного сознания. Этика анализирует природу морали, внутреннюю её структуру, а также исторические этапы её становления. Этика реализует различные подходы, преследуя своей целью анализ ценностей и конфликта ценностей. Отдельно нужно подчеркнуть, что моральный опыт является универсальным, но моральные ценности меняются постоянно. Если мы говорим о биоэтике, то она возникает на стыке социогуманитарного знания и развития биомедицинских наук [3, с. 6].

Биоэтика является особым родом знания, отвечающим на вопрос, как использовать данные биомедицины для достижения блага. Существует несколько мировоззренческих оснований биоэтики. Среди них – антропоцентризм и биоцентризм, различающиеся по ряду пунктов: по типу познавательной установки, по прагматической установке, по психологии восприятия живого. Антропоцентризм предполагает, что в центре внимания находится человек и его потребности, и только человеку присуще обладать ценностями, и, следовательно, человек имеет нравственный долг только перед людьми. Биоцентризм предполагает более широкую трактовку, согласно которой человек имеет нравственный долг перед всеми живыми существами на земле, призван оберегать всё живое, а в центре внимания находится «биос», то есть жизнь. Всё живое на земле имеет значение, причём не только прагматическое, но и нравственное [3, с. 7].

Биоэтика начала формироваться с середины XX века в США и Западной Европе. Она создавалась на стыке наук: философии, культурологии, права и медицины. В рамках биоэтики были определены концепции обеспечения прав человека в биомедицине [4].

В 1964 году была принята «Хельсинкская декларация», которая регламентировала проведение медико-биологических исследований. Позже была принята «Конвенция Совета Европы о правах человека в биомедицине», которая обозначала обязательность исполнения контроля над проведением подобных исследований [4].

В современном мире развитие биоэтики обусловливается процессом преобразований в медицине. Современная медицина не только оснащена технологически, но и более чувствительна к этическим аспектам лечения. Этические принципы современной медицины вносят преобразования в положения «Клятвы Гиппократа», которая являлась эталоном морального поведения на протяжении многих веков. Отличия состоят в том, что традиционная медицинская этика исходила из понятия того, что врач является морально ответственным агентом во взаимодействии врача и пациента. В рамках биоэтики акцент делается на том, что в принятии морально значимых решений принимает участие как врач, так и пациент, соответственно, ответственность несут обе стороны [4].

Биоэтическая проблематика касается четырёх основных групп проблем: 1) проблемы, связанные с началом жизни человека и развитием репродуктивных технологий; 2) проблемы смерти и умирания; 3) проблемы возможности вмешательства в физическую и психическую целостность человека; 4) проблемы конфликтов между интересами индивидов и интересами общества и государства в вопросах охраны здоровья [3, с. 7–8].

Если рассмотреть содержание биоэтики с философской точки зрения, то её центральная проблема – это отношение к жизни и смерти [4].

Медицину и философию проблематика смерти объединяет. Во многих философских учениях проблема смерти становится как элементом индивидуализации жизни, так и моментом, объединяющим всех людей [3, с. 61].

Актуальность и бурное развитие в последние десятилетия биоэтики определяются прежде всего революционными научными открытиями в современной биомедицине. К актуальным биоэтическим проблемам относятся: новая концепция смерти – «смерть мозга», «поддерживаемое врачом самоубийство», «стойкое вегетативное состояние» и другие [5, с. 57].

В данной работе рассматривается одна из таких проблем — новый критерий смерти человека (смерть мозга). Спустя 10 лет после первого описания в науке состояния больных со смертью мозга (1959) этические вопросы помощи умирающим стали важнейшими, и даже в определённом смысле приоритетными, в биоэтике [5, с. 57].

Смерть имеет не только социально-психологическую значимость, но и социально-правовой и культурный статус. Вопрос о смысле жизни позволяет однозначно разделить все цивилизации на два типа:

1. Сотериологический тип культуры (сотериология – это богословское учение о спасении человека):

- смысл жизни вынесен за пределы жизни;
- общество и каждый человек готовятся к вечной участи, как бы она ни понималась;
- смерть воспринимается как стадия жизни, задающая всю систему нравственных координат;
- вся жизнь человека должна быть посвящена вхождению в инобытие, и каждый поступок обретает значимость в отношении к тому свету.

Красота храмов и искусства символизирует небесную красоту, возводя молящихся к реальности вознесения. Детализация похоронных обрядов является основным способом прохождения момента смерти.

2. Гедонистический тип культуры (гедонизм – это стремление к удовольствию в земной жизни):

- главная задача человека – достичь земного счастья;
- смерть предстаёт трагедией, в который безжалостное время загоняет живых;
- отрицается бессмертие человеческой души.

Примером являются культуры Индии, Рима эпохи упадка, а также часть современной европейской цивилизации. В ряде европейских городов погребальным машинам запрещено появляться на улицах днём. В культурах гедонистического типа распространена традиция не говорить детям о смерти близких [3, с. 61].

С одной стороны, тема смерти в гедонизме табуирована. Но сакральное отношение к предмету обычно предполагает, что нарушение табу наказывается. Но такого по отношению к смерти не происходит. Существует парадокс: нередко происходят акции памяти (в частности, «бессмертный полк») – массовые акции, когда люди публично говорят об умерших. При этом гедонизм создаёт трудности разговора о смерти в приватной, личной сфере и предполагает стремление избегать (разговоров) о смерти [3, с. 61].

Нынешняя функция констатации смерти, представляющаяся современным людям вполне естественной и самоочевидной функцией врачей, ещё недавно таковой не была. В течение многих

столетий от врача вовсе не требовалось находиться у постели больного до его смерти. Напротив, врача призывали, чтобы убедиться, что пациент безнадёжен. Врачей редко звали констатировать смерть. Эта важная забота отдавалась наёмным людям [3, с. 62].

В культурах сотериологического типа рядом с умирающим находился священник. Вполне вероятно, что такая ситуация появилась в связи с позицией Гиппократа. Он учил, что в отношении тех, чьи тела уже побеждены болезнью, медицина не должна протягивать свою руку. Поэтому с древних времён врачей учили распознавать признаки смерти (её приближения). Не для того, чтобы диагностировать смерть, а для того, чтобы сразу после обнаружения её близости, прекратить лечение [3, с. 62].

С Гиппократа до XVII века прекращение лечения после обнаружения знаков смерти мотивировалось отсылкой к социальному статусу врачевателей, опасением навредить репутации, навлечь немилость родственников, если человека не удавалось спасти. Считалось, что прекратить лечение после обнаружения приближения смерти – этично. А вот продлить жизнь человека, который уже не в состоянии выздороветь – напротив, нет [3, с. 62].

К XVII веку в культуре стали распространяться панические настроения. Например, в таких европейских странах, как Франция и Германия, на протяжении двух столетий люди панически боялись быть похороненными заживо. В искусстве и литературе царила неуверенность по отношению к смерти. Тема «живого трупа» постоянно владела умами людей. Дело доходило до того, что люди стали оговаривать в завещании проведение посмертных тестов и временной интервал между смертью и похоронами, чтобы удостовериться в действительной кончине [3, с. 62].

Под влиянием этой двусмысленности культура начала меняться. Начался процесс, который историки медицины и культуры называют «медикализацией смерти» – медицинская профессия приобрела исключительное право и обязанность констатировать смерть [3, с. 63].

Смерть стала вопросом, требующим применения специальных знаний, технических средств, методов и особого критерия. Медики обрели новую монополию, медицинская профессия укрепила свой статус и власть в обществе. Местом, где человек расстаётся с жизнью, всё чаще становится лечебно-медицинское учреждение. Смерть и умирание всё в большей степени стали не просто естественными событиями, но событиями, которые опосредуются имеющимися у медиков техническими возможностями [3, с. 63].

Критерий смерти для медицины – это не только учёт собственно медико-биологических аспектов, но и задача вписывания этих аспектов в функционирование культуры. Длительное время «три биения жизни» (сердца, дыхания, кровообращения) считались критерием жизни – это кардиоцентрированный критерий. Для определения отсутствия дыхания предлагалось подержать зеркальце возле губ. Для доказательства отсутствия кровообращения у человека стягивали палец ниткой. При изменении его цвета человек признавался живым. Ещё по законодательству 1918 года во Франции было принято положение, согласно которому для подтверждения смерти было необходимо рассечь височную артерию. Человек признавался умершим, если кровь не текла. Надёжность подобных проб опровергается, поскольку, к примеру, пульс может отсутствовать у человека в алкогольной коме, или после длительного охлаждения [3, с. 68].

В 20 веке бурный технологический прогресс в реаниматологии и анестезиологии привёл к тому, что процессы дыхания и кровообращения стало возможным поддерживать искусственно. Снабжать организм пищей и водой стало возможно через специальные аппараты. Тем самым, появилась возможность спасать жизни множеству пациентов и как можно дальше отодвигать черту смерти. Но эти же научно-технологические достижения привели к появлению трудностей морально-юридического порядка. Если дыхание и кровообращение можно поддерживать, то мы не можем уже считать естественное прекращение того или иного чётким и однозначным критерием смерти [3, с. 69].

Встал вопрос, а до каких пор врачам следует вести борьбу, исход которой предопределён и в лучшем случае может быть лишь отсрочен? Поэтому в истории медицины 20 века было введено понятие «клинической смерти», когда отсутствуют видимые признаки жизни (сердцебиение, дыхание, угасание ЦНС), но сохраняются обменные процессы в организме. В отличие от биологической смерти, с наступлением которой восстановление жизненных функций становится невозможной, клиническая смерть не является необратимой. Не только появление знаков, но и само наступление смерти ещё не являются основанием для прекращения медицинских манипуляций. Критерий смерти определяет и тот момент, когда врачи обязаны её констатировать, а значит, должны закончить поддерживающее жизнь лечение. Такая ситуация, объективно связанная с прогрессом биомедицины, сделала смерть событием, которое определяется не столько естественным течение процесса, сколько выбором людей [3, с. 69].

Если жизнь поддерживается с помощью аппаратов и препаратов, её прекращение наступает тогда, когда делается выбор в пользу смерти. Поэтому, если люди принимают решение, возникает ситуация этической оценки действий врачей. В современной медицине складывается такое положение, когда в силу совершенно объективных причин, а не в силу некого умысла, стремление бороться за жизнь больного до последнего вздоха утрачивает универсальную применимость [3, с. 70].

Требования к определению и критерию смерти:

- обоснован с научно-медицинской точки зрения;
- доступен с практической точки зрения;
- объективен;
- приемлем с точки зрения господствующих культурных и этических норм в обществе в целом.

Смерть человека – это необратимая деструкция или дисфункция критических систем организма, то есть систем незаменимых ни сейчас, ни в будущем искусственными биологическими, химическими или электротехническими системами. Незаменимым признаётся мозг, поэтому смерть мозга эквивалентна смерти человека. Так происходит в США, Европе и некоторых странах Азии [3, с. 71].

Причины, позволяющие отождествлять смерть мозга со смертью индивида:

- после необратимого прекращения функционирования мозга все остальные системы органов неизбежно прекратят работать;
- утраченные функции мозга, в отличие от других систем органов, невозместимы;
- необратимое прекращение функционирования мозга равнозначно потере сознания навсегда;
- с прекращением функционирования мозга организм утрачивает чувствительность;
- с прекращением функционирования мозг утрачивает свою интегрирующую функцию;
- определение смерти на основе смерти мозга есть всего лишь открытое признание истинной причины, лежащей в основе традиционной диагностики смерти по прекращению циркуляции крови.

Новый критерий смерти был разработан в 60-е годы 20 века в Гарварде, в США комиссией специалистов, которые предложили его, основываясь на необратимом прекращении деятельности не сердца или лёгких, а мозга [3, с. 71].

Достаточно высокого уровня достигли реанимационные средства поддержания жизни. Гарвардская комиссия указала, что их усовершенствование породило многочисленные попытки спасти людей с безнадёжными повреждениями. Эти попытки вели к частичному успеху, но мозг был необратимо разрушен. Поэтому появилось различение понятий «телесная жизнь» и «личностная жизнь». Гарвардская комиссия указала также на необходимость юридических, медицинских и моральных оснований для забора неповреждённых органов для трансплантации [3, с. 71].

Разработка нового критерия смерти была необходима и для того, чтобы прекратить бессмысленное лечение, и для того, чтобы развивать трансплантацию. Стоит отметить особенности юридического оформления критерия смерти как смерти мозга. В США в 1981 году была дана формулировка «полной мозговой смерти». Были указаны два критерия смерти: 1) необратимое прекращение функций кровообращения и дыхания; 2) необратимое прекращение всех функций мозга в целом, включая мозговой ствол [3, с. 71].

Если между состоянием «определённо жив» и «определённо мёртв» есть зоны неопределённости, в которых люди должны делать жизненно важный выбор и когда окончательное решение о продлении жизни или констатации смерти принимает врач, то открываются возможности и необходимость для этического анализа действий людей [3, с. 72].

Гносеологическим основанием новой концепции смерти человека является истинность врачебного диагноза «смерть мозга». В данной познавательной ситуации речь идёт о конвенциональной истине. Характерно название нормативно-правового документа, регулирующего проблему смерти мозга в Польше, — «Позиция Всепольских групп в области анестезиологии, интенсивной терапии, неврологии, нейрохирургии и судебной медицины по вопросу о критерии смерти головного мозга». Конвенциональный характер истинности диагноза «смерть мозга» подтверждается таким красноречивым фактом: в первой редакции Сиднейской декларации о факте смерти (1968) решающим критерием надёжности диагноза «смерть мозга» считалась ровная линия (изолиния) на электроэнцефалограмме (ЭЭГ), а во второй редакции (1983) данный метод из разряда обязательно применяемых был переведён в разряд подтверждающих. Иными словами, мера объективности диагноза «смерть мозга» исключительно определяется междисциплинарным консенсусом учёных-экспертов. Далее требует решения ещё один вопрос: какими должны быть надёжные гарантии исключения врачебной ошибки в ситуациях установления диагноза «смерть мозга»? Такие гарантии наиболее надёжны в Израиле — здесь материалы каждого случая диагностики смерти мозга направляются в Минздрав, где рассматриваются двумя независимыми друг от друга высококвалифицированными специалистами [5, с. 60–61].

Особенно выражен конвенциональный характер истинности диагноза в США. При этом все чаще зарубежными авторами высказываются сомнения в отношении достоверности концепции смерти мозга. В одном из социологических исследований выявлено, что 47 % американских нейрохирургов и неврологов согласились бы продолжать реанимацию больного с погибшим мозгом, если бы этого пожелали родственники. Таким образом, в современном обществе участниками соглашения (считать ли такого больного живым или мёртвым) являются не только учёные и врачи, но и представители «профанного сословия» общества, например родственники пациента [5, с. 61].

В научном дискурсе важнейший момент онтологической составляющей новой концепции смерти человека заключается в решении вопроса: означает ли диагноз смерти мозга разрушение структуры

мозга, или применяемые нами методы научного познания позволяют говорить только о регистрируемом необратимом отсутствии всех функций мозга [6].

Клинический статус "смерть мозга" – это новый образ и новый смысл смерти человеческого индивида. Классические клинические критерии смерти (биологическая смерть) – это прекращение сердцебиения и самостоятельного дыхания. Так как у пациента со смертью мозга ещё сохраняется спонтанная деятельность сердца, с точки зрения клинической медицины, его можно считать "частично живым". Но так как самостоятельное дыхание у такого пациента необратимо отсутствует (апноэ) и уж, конечно, отсутствуют любые проявления сознания, эмоций, с той же классической клинической точки зрения его можно считать "частично мёртвым". В случаях биологической смерти прекращение сердцебиения и отсутствие самостоятельного дыхания, а спустя несколько часов появление трупных пятен и трупного окоченения позволяют говорить о факте смерти как наблюдаемом объекте, в природе которого нет сомнения ни с позиций науки, ни с позиций здравого смысла [6].

Отождествление же клинического статуса смерти мозга и смерти человека – совсем другая реальность. Природа этой реальности такова. Во-первых, смерть человека здесь – это ненаблюдаемый объект. С позиций здравого смысла такой человек жив, отсюда первоначальное определение состояния больного со смертью мозга – "запредельная кома". Смерть мозга - это такое состояние, когда объективная граница жизни и смерти как бы оказалась "стёртой". Поистине: человек "частично жив", а "частично мёртв". Во-вторых, смерть человека здесь является артефактом, т.е. ятрогенным состоянием, сохраняющимся, пока проводится реанимация. В-третьих, трактовка этого факта зависит от социального контекста [6].

Бытие человека здесь как бы расколото, а его судьба повернулась так, что уже как бы сделан необратимый шаг в небытие. То есть, в онтологическо-философском плане вопрос "ещё жизнь" или "уже смерть" в принципе не имеет однозначного решения [6].

Когда пациенту ставится диагноз "смерть мозга" и на этом основании он признается мёртвым, разрубается гордиев узел многих противоречий, включая и такое: с точки зрения здравого смысла многих людей (особенно, если это родители пациента-ребёнка), такой пациент ещё жив [6].

Следует подчеркнуть: если диагноз смерти мозга поставлен, то это один из самых научно обоснованных и профессионально-надёжных диагнозов в современной медицине. Однако при этом нельзя не видеть серьёзные философские (методологические, этические) вопросы. В строгом смысле констатация смерти на основании диагноза смерти мозга означает: объективность данного факта заключается в том и только в том, что этот факт установили эксперты-учёные. Мы имеем здесь дело с конвенциональной истиной, а сама эта истина достигается консенсусом специалистов. Совершенно очевидно, что при диагностике смерти мозга требования врачебной этики становятся категорическим императивом - в этой клинической ситуации врачебные ошибки должны быть исключены. Однако, как это вообще возможно, как можно достичь совпадения идеала и реальности? Проблема смерти мозга по-прежнему остаётся открытой научной проблемой. Любые вновь открывающиеся обстоятельства (клинические наблюдения, научные факты) должны опять и опять проходить проверку как аргументы "в защиту жизни" или "в защиту смерти" [6].

Следовать канонам представителей реаниматологии, конечно, проще: ведение такого больного остаётся в рамках традиционной клинической модели с учётом того, что речь идёт о крайне тяжёлом состоянии больного. При следовании же канонам представителей власти первостепенное значение имеет методологическое положение: в каждом случае диагностики смерти мозга врачи должны, безусловно, выполнять соответствующие профессиональные стандарты, а их основа – нормативный документ – периодически, с учётом всего международного опыта, должен пересматриваться [6].

Таким образом, клиническое состояние смерти мозга трактуется как новый образ и новый смысл смерти человека. Основанием достоверности и надёжности диагноза смерти мозга является междисциплинарный консенсус врачебного консилиума. Признание нового критерия смерти, прежде всего, зависит от безусловного соблюдения врачами профессиональных стандартов. Необходим междисциплинарный научный диалог по всем аспектам проблемы смерти мозга, включая философские.

Непреложным фактом истории медицины, истории культуры является то, что в течение последних 50 лет разработка нового критерия смерти (смерть мозга) стала важнейшим условием успешного развития клинической трансплантологии. В то же время наличие нерешённых пока научных, социокультурных и философских вопросов в рамках комплексной проблемы, получившей в науке наименование «смерть мозга», оказывается существенным фактором, тормозящим дальнейшее развитие трансплантологии. Наука ищет альтернативные направления развития практик использования человеческих донорских органов. Если учесть, что у доноров в состоянии «смерть мозга» сердце продолжает биться, то особого внимания заслуживают доноры с отсутствием сердцебиения.

Изучая моральные, философские, теологические, правовые и социальные проблемы, рождающиеся по мере развития биологии и медицины, биоэтика тем самым является междисциплинарной областью знаний, она охватывает медицинскую этику и простирается за её пределы. Круг проблем биомедицинской этики гораздо шире проблем классической медицинской этики, но отчасти перекликается с ними. В биоэтике центральное место занимает отношение к жизни и смерти,

причём жизнь понимается как высшая ценность. Именно поэтому иногда биоэтику определяют как систему знаний о границах допустимого манипулирования жизнью и смертью человека.

В будущем рассмотрение проблемы жизни и смерти приобретёт абсолютно новый характер, опирающийся на ожидаемые впечатляющие результаты развития медицины. По-видимому, станет возможным уменьшение негативного влияния самого факта существования смерти на философию и биоэтику за счёт появления возможности влияния на процесс умирания. Неотвратимость смерти будет не так остро восприниматься учёными и философами и позволит рассмотреть гораздо глубже процессы, связанные именно с окончанием земного пути.

Список использованных источников:

1. Лях, К. Ф. Смерть как проблема истории философии и биоэтики: Автореферат дис… к-та филос. наук: 09.00.03 / К. Ф. Лях // МГТУ. Мурманск, 2007. – 23 с.

2. Проблема смерти в контексте биоэтики. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cheloveknauka.com/problema-smerti-v-kontekste-bioetiki. – Дата доступа: 30.03.2025.

3. Брызгалина, Е. А. Биоэтика. / Е. А. Брызгалина – М.: Наука, 2020. – 139 с.

4. Современная биоэтика. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://spravochnick.ru/koncepciya_sovremennogo_estestvoznaniya/bioetika_i_chelovek/sovremennaya_bioetika/#principy-i-idei-sovremennoy-bioetiki. – Дата доступа: 30.03.2025.

5. Иванюшкин, А. Я. Смерть человека как философская проблема в контексте современных биомедицинских технологий / А. Я. Иванюшкин // Вестник МГПУ. Серия «Философские науки». – 2019. – № 17. – С. 56-65.

6. Проблема смерти мозга: философский и социокультурный контекст. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.cesurg.ru/ru/jarticles_cesurg/135.html?SSr=5901343e4417ffffffff27c__07e40a1c113b2e-45c8. – Дата доступа: 30.03.2025.

UDC 128

THE PROBLEM OF LIFE AND DEATH IN THE CONTEXT OF MEDICAL RESEARCH AND BIOETHICS

Budnik V.S.[1]

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics[1]*, Minsk, Republic of Belarus*

Malyhina G.I. – PhD in Philosophy

Annotation. This article provides a detailed description of bioethics, its definition, subject of study, history of development, problems, and ideological foundations. The evolution of the concept of brain death in medicine is considered. The original (cardiocentric) and modern (brain death) criteria of death, the history of their origin and development, and their consolidation in legislation are described. The philosophical (ontological, epistemological, and ethical) content of the problem of brain death is analyzed.

Keywords. Bioethics, medicine, death criteria, brain death, definition of death, medical council, professional standards.

БУНТ ПРОТИВ ОДНОМЕРНОСТИ: ЧЕЛОВЕК В ЛОВУШКЕ МАССОВОЙ КУЛЬТУРЫ

Бурко Л.А., магистрант гр.455801

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Чуешов В.И. – доктор философских наук, профессор

В работе рассматривается концепция «одномерного человека», предложенная Гербертом Маркузе в рамках критической теории общества. Анализируется, каким образом современное индустриальное и цифровое общество подавляет критическое мышление, формируя ложные потребности и стандартизированные способы восприятия реальности. Особое внимание уделяется влиянию массовой культуры, системы образования, политических институтов и цифровых технологий на закрепление одномерного сознания.

Герберт Маркузе и его концепция "одномерного человека" представляют собой важную часть критической теории общества. В своём главном труде "Одномерный человек" (1964) Маркузе анализирует механизмы, с помощью которых современное индустриальное общество подавляет способность человека к критическому мышлению и альтернативному восприятию реальности. Основной тезис его работы заключается в том, что технологический прогресс, вместо того чтобы вести к освобождению личности, становится инструментом её подчинения системе.

Маркузе утверждает, что капитализм и технологическая рациональность формируют так называемое "одномерное сознание", в рамках которого индивид принимает существующую социальную реальность как неизбежную и не подвергает её сомнению. Одним из главных механизмов этого процесса является создание "ложных потребностей". Через массовую культуру, рекламу и медиа общество формирует в человеке стремление к материальным благам и комфорту, которые отвлекают его от поиска подлинной свободы. Эти ложные потребности усиливают зависимость человека от системы и препятствуют развитию критического сознания [1].

Особое внимание Маркузе уделяет языку, который в рамках одномерного общества становится инструментом идеологического контроля. По его мнению, язык массовой культуры и политики сводится к простым лозунгам и стандартным выражениям, исключающим двусмысленность и критику. "Язык одномерного общества устраняет критику, заменяя вопросы однозначными утверждениями", – пишет Маркузе. Это упрощение языка ведёт к тому, что люди теряют способность к анализу и альтернативному мышлению.

Другим важным аспектом является роль массовой культуры, которая, по мнению Маркузе, превращается в инструмент социальной стабилизации. Индустрия развлечений, телевидение и другие медиа создают иллюзию свободы выбора, но на самом деле направляют внимание человека на поверхностные удовольствия, не позволяя ему задуматься о более глубоких проблемах общества. В этом контексте идеи Маркузе можно сравнить с концепцией "симулякров" Жана Бодрийяра, который утверждал, что в современном мире реальность подменяется её символическим представлением, создавая иллюзию смысла там, где его на самом деле нет [2].

Институциональное укрепление одномерного сознания проявляется и в системе образования. Согласно Маркузе, образовательные институты вместо развития критического мышления направлены на подготовку специалистов, соответствующих требованиям индустриального общества. Таким образом, образование становится не средством интеллектуального роста, а инструментом социализации и адаптации к существующему порядку. Стандартизация знаний и узкая специализация препятствуют формированию широкой картины мира и критического отношения к действительности.

Анализируя современное общество, Маркузе приходит к выводу, что одномерное сознание поддерживается не только через систему образования и массовую культуру, но и через политические институты. Демократия, по его мнению, превращается в управляемый процесс, в котором реальные альтернативы исключаются. Политический дискурс становится одномерным, а оппозиционные взгляды маргинализируются. Это проявляется в создании "консенсусного общества", где любые альтернативные идеи воспринимаются как угроза стабильности и отвергаются.

Таким образом, концепция "одномерного человека" остаётся актуальной и в XXI веке. В условиях цифровизации и распространения социальных сетей механизмы формирования одномерного сознания только усилились. Алгоритмы персонализированного контента создают информационные пузыри, препятствуя столкновению с альтернативными взглядами и точками зрения. Однако, как указывал Маркузе, осознание этих механизмов может стать первым шагом к их преодолению. Развитие критического мышления, альтернативных культурных практик и демократизации технологий – возможные пути сопротивления одномерности, ведущие к подлинной свободе и самореализации личности.

Преодоление одномерности требует пересмотра фундаментальных основ современного общества. Маркузе предлагает концепцию "Великого отказа", заключающуюся в активном

сопротивлении установленным нормам и поиске альтернативных форм существования. Это сопротивление может выражаться в радикальном искусстве, контркультурных движениях, философской критике и альтернативных социальных практиках.

Искусство играет важную роль в преодолении одномерного мышления. По мнению Маркузе, подлинное искусство должно быть критическим и провоцирующим, разрушая иллюзии, навязанные обществом потребления. Он настаивает на том, что произведения искусства могут открыть новые способы восприятия реальности и вдохновить на поиск альтернативных форм жизни. Это согласуется с идеями Теодора Адорно и Макса Хоркхаймера, которые в "Диалектике Просвещения" утверждали, что массовая культура угнетает творчество, превращая искусство в товар [3].

Другим важным элементом борьбы с одномерностью является развитие новых образовательных моделей. Критическое образование, ориентированное на развитие аналитических и философских навыков, может стать инструментом противостояния идеологической стандартизации. Вместо узконаправленной профессиональной подготовки необходимо формировать у учащихся способность к самостоятельному анализу, рефлексии и осмыслению альтернативных точек зрения.

Наконец, в цифровую эпоху особое значение приобретает вопрос демократизации информации. Современные технологии обладают двойственным потенциалом: с одной стороны, они могут усиливать эффект одномерного сознания, но с другой – предоставляют инструменты для его преодоления. Развитие независимых медиа, открытых образовательных платформ и альтернативных форм коммуникации может способствовать формированию критически мыслящего общества.

Таким образом, концепция "одномерного человека" остаётся актуальной и в XXI веке. В условиях цифровизации и распространения социальных сетей механизмы формирования одномерного сознания только усилились. Алгоритмы персонализированного контента создают информационные пузыри, препятствуя столкновению с альтернативными взглядами и точками зрения [4]. Однако, как указывал Маркузе, осознание этих механизмов может стать первым шагом к их преодолению. Развитие критического мышления, альтернативных культурных практик и демократизации технологий – возможные пути сопротивления одномерности, ведущие к подлинной свободе и самореализации личности.

Способы борьбы с одномерностью:

– Развитие критического мышления – осознание механизмов контроля, анализ информации, умение отличать манипуляцию от фактов.

– Изучение философии и гуманитарных наук – расширение кругозора, развитие способности к рефлексии и сомнению.

– Поддержка независимых медиа – поиск альтернативных источников информации, свободных от влияния корпораций и государственных структур.

– Развитие альтернативной культуры – поддержка искусства, выражающего критику существующего порядка и предлагающего новые формы восприятия реальности.

– Образовательные реформы – ориентация на развитие самостоятельного мышления, вместо механического усвоения знаний.

– Создание независимых платформ для обмена знаниями – открытые образовательные инициативы, краудсорсинговые проекты, дискуссионные клубы.

– Цифровая гигиена – критическое отношение к алгоритмам социальных сетей, избегание информационных пузырей, осознанное потребление контента.

– Развитие коллективного сознания и активизма – участие в социальных движениях, направленных на защиту прав человека, экологию и социальную справедливость.

– Популяризация научного подхода и рационального мышления – борьба с мифами, пропагандой и конспирологическими теориями.

– Создание новых политических альтернатив – поддержка инициатив, предлагающих реальные изменения, а не лишь имитацию демократии.

Таким образом, несмотря на устойчивость одномерного общества, Маркузе предлагает пути его преодоления через осознание механизмов контроля, развитие критического мышления и поиск новых форм культурного и социального сопротивления. Его идеи остаются актуальными и могут быть использованы для анализа современных процессов глобализации, цифровизации и социальной стандартизации.

Список использованных источников:

1. Чуешов В. И., Как возможна философская антропология, или о роли философской осмотрительности и прозорливости в современном человекознании // Социальные и гуманитарные науки на дальнем востоке, Учредители: Дальневосточный государственный университет путей сообщения ISSN: 1992-2868. – 1992. – №18-2. – С. 38-43.

2. Маркузе Г. Одномерный человек. – М.: Академический проект, 1964. – 432 с.

3. Постман Н. Мы веселимся до смерти. – М.: ИД Вильямс, 2004. – 208 с.

4. Гидденс Э. Последствия модерности. – М.: Просвещение, 1995. – 236 с.

УДК: 101.8:33

ФИЛОСОФСКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ

Примакович Л.В. магистрант группы 476701

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Чуешов В.И. – профессор, доктор философских наук

Аннотация. В работе выявлены философские аспекты нестабильности, проанализированы различные подходы к пониманию возникновения и развития понятий экономической нестабильности и самоорганизующихся систем. Значимым является выявление того, как философские теории методологии изучения нестабильности могут способствовать эволюционному развитию социума и экономики, пониманию экономической нестабильности и ее места в современном обществе.

Ключевые слова: нестабильность, системы третьего типа (СТТ), детерминистские и стохастические системы (ДСС), экономическая нестабильность.

Неизбежный кризисный этап, который характеризуется таким состоянием социальной системы, когда все ее связи и процессы определяются областью критических значений, создает колоссальные трудности для государственно-управленческой практики, сказывается на качестве жизни и социальном состоянии всех слоев населения, а в науке и практике требует глубокого и точного теоретического осознания сложившейся ситуации, разработки эффективных тактических и стратегических решений.

Стабильность и нестабильность социально-экономической системы – две крайние противоположные точки на шкале ее возможных состояний. Нестабильность может проявляться как на уровне отдельных социальных систем (нестабильность экономики, государственной власти и т.д.), их взаимодействия друг с другом, так и на уровне всего общества.

Впервые о нестабильности живых систем заговорили в биомеханике. В, когда в 1947 г. Н.А. Бернштейн выдвинул гипотезу о «повторении без повторений». Примечательно, что нестабильность биомеханических систем он объяснял не влиянием внешних факторов на организм, а внутренними перестройками систем регуляции движений: фактически, он говорил об участии пяти разных (физиологически) систем регуляции движений, которые в непрерывном режиме (хаотически) могут вмешиваться в работу нервно-мышечной системы организма человек. Хаос в построении движений (по Н.А. Бернштейну) является внутренним действом биосистемы, он не зависит от внешних факторов среды.

В 1948г. появилась работа W. Weaver, где он все живые системы относил к системам третьего типа (СТТ). Однако он, как и Бернштейн, еще не предложил методологии точного описания таких систем, но правильно указал на их (СТТ) отличие от детерминистских и стохастических систем (ДСС).

Несмотря на новизну предложенного подхода, исследователи не уделяли ему должного внимания и в науке сложилось твердое мнение, что все живые системы – это ДСС, которые описываются в рамках детерминизма или стохастики. Только в конце 80-х годов XX в. белорусский философ В.С. Степин заговорил о возможной статистической неустойчивости живых систем, как о гипотезе, активно подчеркивая диалектику развития системы и развитие (эволюцию) типов самой научной рациональности.

Концептуально наиболее законченную форму термин «нестабильность» обрел в трудах И.Р. Пригожина, чей труд о философии нестабильности был впервые переведен на русский в 1991 году. В публикуемой работе автор поднимает фундаментальные проблемы, связанные с принципиальной непредсказуемостью будущего у сложных диссипативных структур, к которым можно отнести как социальное общество, так и окружающую среду.

Согласно философии нестабильности И.Р. Пригожина специфика сложных биосистем, в том числе социальных и социально-экономических такова, что у них нет стабилизации состояний: нельзя бесконечно долго наблюдать динамику поведения систем, т.к. нет равновесия, а есть эволюция СТТ, и нельзя повторять любое число раз их начальное состояние в виде $x(t_o)$.

После Пригожина, понятие нестабильности в короткий срок было введено в использование в научной среде и возникли новые подходы к пониманию организации и эволюции систем.

В отечественной философии В.И. Чуешовым было показано, что даже в современном обыденном сознании непроходимой пропасти между хаосом как первоначальным состоянием мира и хаосом как отсутствием порядка «здесь и сейчас» не существует [1], и, следовательно,. что никто кроме нас, вооруженных определенной философией, не определит нам вектор эволюции Использование философии неопределенности возвышает интеллектуально каждого члена общества до уровня необходимости использования методологии знаниевого, синергетического, постиндустриального

общества (ЗСПО), позволяющей задавать правильные векторы управляющего воздействия (ВУВ) для себя и для страны, в соответствии с которыми. система должна эволюционировать, а не просто улучшать свою трофику.

В науке, в которой изучаются СТТ, будущее может быть прогнозируемым и конструируемым не за счет только знания законов их развития и, а за счет внешних управляющих воздействий. Утверждение после детерминистской, стохастической новой парадигмы хаотических самоорганизующихся систем уже сегодня распространяется на изучение поведения (отдельной личности, экономической системы, государства), учитывает, что сами такие системы должны усложнять свои векторы управляющих воздействий должны быть самоорганизующимися и саморазвивающимися.

Рассматривая под этим углом зрения экономику, можно сказать, что и до господства современной рыночной экономики неравномерность также существовала. Ее явления чаще всего были обусловлены такими неэкономическими причинами, как: засухи, наводнения, войны, эпидемии, бунты и восстания и имели губительные для экономики последствия. В наши дни эти причины также продолжают действовать и наносить экономический ущерб.

В силу онтологической непрогнозируемости будущего и понимания реальности СТТ, построения для них новых моделей в экономике неотделимо от формирования нового мировоззрения, новой философии – философии неопределенности, неопределенного формирования будущего, изучения процессов деформации структуры, функций или каких-либо процессов систем, которые деформируют эти системы и угрожают их целостности

С экономической точки зрения в общественной жизни нестабильность может выражаться через целый ряд совершенно разных факторов — начиная от колебаний цен и дефицита товаров или сырья, до невыполнения государством своих обязательств по защите прав и интересов граждан, повышения уровня преступности и введения чрезвычайного или военного положения в регионе [2].

Экономическая система, как и любая другая система, представляет собой совокупность взаимосвязанных отлаженных процессов. Но в соответствии с теорией СТТ и допущению принадлежности экономической системы этому классу систем, возможно нарушение устоявшегося процесса под воздействием определенных факторов, вследствие чего возникает переход от стабильного состояния к состоянию экономической нестабильности. Экономическая нестабильность, в свою очередь, – это характерное для развития экономики свойство, выраженное в состояниях системы с существенными изменениями, обусловленными нарушением сложившихся связей.

Признаками экономической нестабильности зачастую, например, являются:

– потеря подвижности и динамичности экономической системы;

– неспособность вовремя приспособиться к изменениям внешних обстоятельств;

– отсутствие гарантий трудоустройства;

– нестабильность цен;

– инфляция;

– дорогостоящие кредиты.

Примером проявления экономической нестабильности может служить такая ситуация с COVID-19, когда борьба с вирусом уже достигла своего завершения, однако экономика все еще претерпевает изменения, связанные с воздействием ситуации пандемии: увеличилось количество работников, работающих на условиях удаленной работы, расширились возможности дистанционного образования и переквалификации и проч.

В условиях экономической нестабильности структура общественной жизни претерпевает серьезные изменения — многие ключевые институты или прекращают свою работу, или значительно перестраиваются, чтобы выжить в новых условиях. Иными словами, экономическая нестабильность – это характеристика не только самой экономики, но и ее состояние в определенный момент.

Для начального этапа экономической нестабильности характерны различного рода социальные возмущения. Возмущения представляют собой неконтролируемые воздействия на экономическое развитие, которые не приводят к изменению фундаментальных качеств экономики. Их можно охарактеризовать как внутренние и внешние. Именно внутренние возмущения вызваны трансформацией экономики в процессе ее функционирования и считаются естественными для самой экономики ввиду того, что без них невозможно ее развитие [3].

С точки зрения философии нестабильности особую значимость имеют структурные изменения, которые в экономике называются сдвигами или изменениями основных способов функционирования рынка или экономики в целом. Сдвиги в отличии от возмущений имеют результирующую составляющую и приводят к изменению основных системных качеств экономики.

Структурные сдвиги – это существенное изменение внутреннего строения экономики, взаимосвязей между ее элементами, законов данных взаимосвязей.

Можно сказать, что не существует экономической системы, которая всегда была бы стабильной. Даже доказавшие свою устойчивость экономические системы: традиционная, плановая, смешанная (рыночная экономика с государственным вмешательством) – имеют проблемы и угрозы кризисов и переходов в нестабильное состояние. Для традиционной системы такой проблемой может быть,

например, неурожай, из-за которого деятельность системы будет кардинально нарушена. У плановой системы есть проблема малоэффективности управляющего воздействия государства. Даже само наличие такого воздействия наводит на мысль о том, что при рассмотрении такой системы мы имеем дело все же с СТТ и, как следствие, с категориями нестабильности. У рыночной также много проблем, как показывают ее многочисленные кризисы. Каждый кризис обнажал новую проблему рыночной системы, поэтому она постепенно перешла к смешанному типу, при котором законы рынка вроде бы работают, но государство вмешивается в экономику, куда хочет.

В рамках экономической теории обычно рассматриваются экономические циклы, понимание которых хорошо накладывается на графическую интерпретацию (см. рисунок 1), в которой. Для любого типа экономических систем характерны состояния пика, спада, депрессии, оживления и экспансии, которые сменяют друг друга [4]. Однако при этом, важно заметить, система никогда не возвращается в начальное состояние и ее состояния сменяются в различные промежутки времени, что приводит к невозможности однозначного предсказания времени и причин смены состояний.

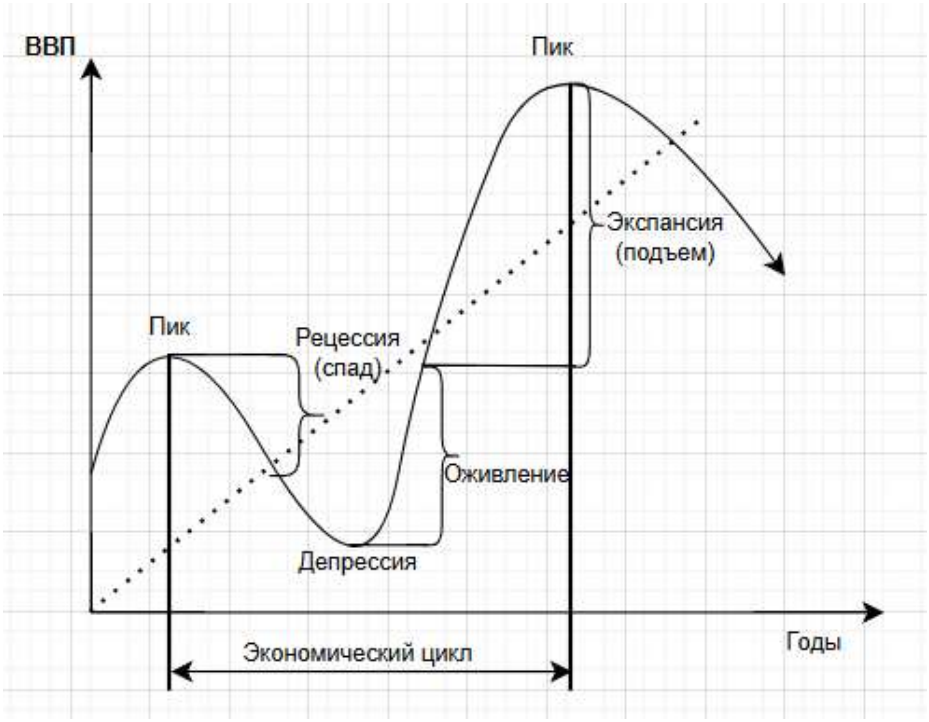


Рисунок 1 – Графическое изображение экономических циклов (разработка автора)

Рассматривая экономические системы, как СТТ, можно определять различного рода управляющие воздействия, которые позволят осуществлять переходы социально-экономических систем в наиболее благоприятные состояния в зависимости от текущего состояния, ведь каждое положение экономики в рамках цикла можно рассматривать как своего рода квазиаттрактор.

Необходимость прогнозирования, сменности и моделирования квазиаттракторов, конечных состояний экономических систем показывает, что философия экономической нестабильности пересмотра методологии традиционных подходов к пониманию социально-экономического развития общества в целом и экономических систем в частности грамотных управляющих воздействий на экономику и социум с целью достижения наиболее благоприятных квазиаттракторов. Как итог, интеграция философских основ и законов экономики, психологии и социологии позволит привести к социально-экономическому развитию общества с минимальным количеством и продолжительностью его кризисных состояний.

Список использованных источников:

1. Чуешов, В. И. Обыденное и мифологическое сознание как генераторы представлений о хаосе и порядке в философии и конкретных науках / В. И. Чуешов // Диалектическая методология в системе трансдисциплинарных исследований: к 95-летию со дня рождения академика НАН Беларуси Д. И. Широканова (1929–2023) : материалы Международной научной конференции, Минск, 21 мая 2024 г. / Институт философии НАН Беларуси ; редкол.: А. Н. Спасков (пред.) [и др.]. – Минск, 2024. – С. 298–300..

2. Арашукова, С.А. Экономическая нестабильность и формы ее проявления в экономике различных стран / С.А. Арашукова – Кубанский государственный университет (ФГБОУ ВО «КубГУ») – URL: https://www.kubsu.ru/sites/default/files/users/50026/portfolio/sarina_arashukova_111_gr.pdf (Дата обращения : 17.03.2025).

3. Пригожин, И. Философия нестабильности /И. Пригожин // Вопросы философии. – 2019. – № 6. – С. 46-57

4. Корольков, В. Е., Смирнова, И. А. Экономика России и мира: новые вызовы и стратегии развития : монография / В. Е. Корольков, И. А. Смирнова. – М : Издательство «Прометей», 2024. –. 164 с.

UDC: 101.8:33

PHILOSOPHICAL AND METHODOLOGICAL ANALYSIS OF ECONOMIC INSTABILITY

Primakovich L.V. master's student of group 476701

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Tchouechov V.I. – PhD in philosophical sciences

Annotation. The work identifies philosophical aspects of instability and analyzes various approaches to understanding the emergence and development of the concepts of economic instability and self-organizing systems. It is important to identify how philosophical theories of instability study methodology can contribute to the evolutionary development of society and the economy, understanding economic instability and its place in modern society.

Keywords. Instability, type three systems (TTS), deterministic and stochastic systems (DSS), economic instability.

ЭТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В МАРКЕТИНГЕ

Груша М.В., Дятел В.В., магистранты группы 476701

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники[1]
г. Минск, Республика Беларусь

Чуешов В.И. – доктор философских наук, профессор

Аннотация. В статье рассматриваются этические аспекты использования ИИ-агентов в маркетинге и клиентском сервисе. Анализируются восприятие ИИ и human-агентов, влияние персонализации на клиента и моральные границы автоматизации. Поднимаются вопросы доверия, эмпатии и манипуляции, а также проблема распределённой ответственности за решения ИИ. Рассматриваются философские концепции Канта, Бодрийяра и Хайдеггера, применимые к ИИ-этике. Выводы подчёркивают необходимость гибридных моделей взаимодействия, где ИИ дополняет, но не заменяет человеческое участие, обеспечивая прозрачность и справедливость. ИИ должен развиваться в рамках этических принципов, сохраняя баланс технологий и морали.

В современном бизнесе автоматизация клиентского сервиса приобретает всё большее значение. Однако, несмотря на очевидные преимущества ИИ-агентов, такие как высокая скорость обработки запросов и способность работать с большими объемами данных, остаётся вопрос, насколько они удовлетворяют потребности клиентов по сравнению с традиционными человеческими агентами. Исследования показывают, что восприятие компетентности ИИ-агентов и уровень удовлетворенности их работой зависят от контекста использования и сложности решаемых задач.

С философской точки зрения, взаимодействие человека и машины в сфере клиентского сервиса поднимает вопросы доверия, эмпатии и ответственности. Насколько этично заменять человеческое общение автоматизированными алгоритмами? Как изменяются границы морали, когда искусственный интеллект принимает решения, затрагивающие интересы клиента? Эти вопросы актуальны в рамках философии технологии и этики ИИ.

ИИ-агенты представляют собой автономные системы, использующие машинное обучение и обработку языка для взаимодействия с пользователями [1]. В клиентском сервисе они заменяют людей в поддержке, консультировании, прогнозировании потребностей [2].

Жан Бодрийяр в теории симулякров утверждал, что границы между реальностью и её симуляцией стираются. Пользователь может не различать человека и ИИ, что поднимает вопрос подлинности [3].

Кроме того, философия Мартина Хайдеггера о "бытии-в-мире" подчеркивает, что человеческое существование неотделимо от контекста и опыта. ИИ-агенты, лишенные человеческого опыта и интуиции, могут не полностью понимать нюансы человеческих потребностей и эмоций, что ограничивает их способность предоставлять эмпатичный сервис [4]. С другой стороны, философия техники Жака Эллюля предупреждает о рисках технологической детерминации, когда общество становится зависимым от технологий, теряя способность критически оценивать их влияние.

Современный клиентский сервис трансформируется: ИИ и живые операторы сосуществуют, но воспринимаются клиентами по-разному, что создаёт этические вызовы для бизнеса, балансирующего между автоматизацией и человечностью.

Исследования выявляют парадокс: в рутинных задачах ИИ-агенты кажутся клиентам сверхточными, и малейшие сбои вызывают сильное разочарование — так проявляется "эффект перфекционизма". В то же время человеческие ошибки воспринимаются терпимее, как естественные. В сложных ситуациях, когда требуется гибкость, контекст или эмпатия, клиенты предпочитают живое общение — проявляется "эффект антропоцентризма". Такое восприятие обусловлено разницей между технологиями и людьми: ИИ воспринимается как система, где ошибка — это сбой, а человек может объяснить действия, проявить эмпатию и адаптироваться под ситуацию [5].

Компаниям важно использовать преимущества автоматизации, не разрушая доверие клиентов. Решение заключается в разделении сценариев: ИИ-решения подходят для задач, требующих скорости и точности, а для гибкости и эмпатии незаменим человек. Также важно не создавать у пользователей завышенных ожиданий от технологий и сохранять возможность перехода к живому специалисту. Будущее клиентского сервиса — это не выбор между человеком и алгоритмом, а их разумная интеграция [6].

Современный маркетинг всё больше опирается на искусственный интеллект (ИИ) для анализа потребительского поведения и прогнозирования предпочтений. Персонализация становится стандартом: алгоритмы подстраивают контент, рекламу и предложения под каждого пользователя, создавая впечатление индивидуального подхода [7]. Однако это вызывает важный философский и этический вопрос: где проходит грань между полезной персонализацией и манипуляцией?

Персонализированные рекомендации могут восприниматься как удобный сервис, повышающий качество потребительского опыта. Тем не менее, когда ИИ начинает незаметно влиять на поведение пользователя — эксплуатируя когнитивные и эмоциональные уязвимости, скрывая свою

алгоритмическую природу или навязывая определённые решения — речь уже идёт о манипуляции. Восприятие таких взаимодействий радикально меняется в зависимости от степени прозрачности: если ИИ-агент представлен открыто как бот или автоматизированная система, пользователь склонен воспринимать информацию критически. Но если он маскируется под человека, это ставит под сомнение подлинность и честность коммуникации.

Следовательно, персонализация сама по себе не является неэтичной, но, когда знание о пользователе используется не для помощи, а для эксплуатации, происходит переход от заботы к цифровому принуждению.

Ещё одной важной проблемой является ответственность за ошибки и решения, принимаемые ИИ-агентами. По мере того, как алгоритмы всё чаще заменяют человека в маркетинге и клиентском сервисе, становится очевидным, что традиционные представления о юридической и моральной ответственности требуют переосмысления. Кто должен нести ответственность за действия ИИ — разработчики, компании или пользователи? Этот вопрос затрагивает фундаментальные аспекты агентности, автономии и справедливости.

С точки зрения классической философии, моральная ответственность предполагает свободную волю и рациональность. По Канту, моральный агент действует автономно и осознаёт последствия своих поступков. ИИ как система без самосознания этим критериям не соответствует, а значит, не может быть носителем моральной ответственности.

Концепция распределённой ответственности предлагает рассматривать ИИ как часть системы, включающей разработчиков, корпорации и пользователей. В этом контексте он — не субъект, а инструмент, действующий в рамках заданных параметров.

С юридической точки зрения алгоритмы не вписываются в классические правовые категории, поскольку не обладают субъектностью [8]. Это порождает дилемму: кто отвечает за ущерб, причинённый ИИ? Возможны три модели: разработчик — в случае ошибок, связанных с архитектурой алгоритма; организация — несёт ответственность за ИИ как часть бизнес-модели; пользователь — может нести последствия, если действует на основе рекомендаций ИИ.

В маркетинге этический разрыв между субъектом и действием особенно заметен при дискриминации, манипуляции и недобросовестном использовании данных. Например, алгоритмическое ценообразование, ориентированное на индивидуальный профиль, может усиливать неравенство, но сам алгоритм лишь воспроизводит вложенные в него параметры [9].

Технологическая ответственность требует новых подходов к регулированию, поскольку традиционные модели субъектности не применимы к самообучающимся алгоритмам. Ответственный ИИ должен включать механизмы прозрачности, подотчётности и объяснимости, чтобы избежать феномена «рассеянной вины», когда никто не несёт ответственности за действия системы.

Дальнейшие исследования могут сосредоточиться на гибридных моделях взаимодействия ИИ и человека [10]. Особый акцент может быть сделан на оптимизацию алгоритмов с учётом эмпатии и гибкости решений, чтобы искусственный интеллект мог не только обрабатывать запросы, но и учитывать контекст ситуации, эмоциональное состояние клиента и индивидуальные предпочтения [11].

Будущее клиентского сервиса — это не тотальная автоматизация, а гармоничное сосуществование технологий и человеческого участия. Искусственный интеллект способен повысить скорость и точность обслуживания, однако моральные и этические ориентиры должны оставаться основой взаимодействий между бизнесом и клиентами. Баланс между эффективностью алгоритмов и человечностью решений обеспечит доверие, прозрачность и справедливость в цифровой эпохе.

Список использованных источников:

1. Громов, А. Искусственный интеллект в России – 2023: тренды и перспективы/ А. Громов, М. Болотских, М. Дорохова, Москва 2023. – 305с.

2.Залихина, К.А. Сакульева, Т.Н. Развитие клиентского сервиса как основа зарождения системы электронной коммерции//Вестник университета, 2021. – С. 81-86.

3.Новиков В.Г., Гиперреальность, симулякры и симуляции в виртуальном пространстве как феномен «антисоциальной» теории Жана Бодрийяра. Цифровая социология/ В.Г. Новиков, С.В. Ковалева. – Москва 2019;2(1):39-45

4.М. Хайдеггер и русская философская мысль / Н. А. Артеменко [и д.р.] //Коллективная монография,2022 - 382 с

5.Huang, M. The role of artificial intelligence in customer service: Implications for customer satisfaction and loyalty. Journal of Service Research/ M. Huang, R.T. Rust, 2021 - 24(3), 323-338.

6.Salimzadeh, K. Customer dissatisfaction with AI agents: The moderating role of problem complexity. Journal of Business Ethics/ K. Salimzadeh, J. Goh, W. Lee, 2023 -1124c.

7.Богданова, М.В. Этика применения искусственного интеллекта в цифровом маркетинге/ М.В. Богданова, В.Г Богданова, А.В. Александрова // Управленческий учет, 2024. – № 12

8.Попова А., Этические принципы взаимодействия с Искусственным интеллектом как основа правового регулирования/А. Попова // Правовое государство: теория и практика, 2020. – 43 с.

9.Харитонова, Ю. С. Предвзятость алгоритмов искусственного интеллекта: вопросы этики и права / Ю. С. Харитонова, В.С. Савина, Ф. Паньини // Вестник Пермского университета. Юридические науки, 2021 –515с.

10.Баксанский, О.Е. Этика искусственного интеллекта: сбалансированный подход к развитию и применению /О.Е. Баксанский, С.Г. Сорокина // Общество: философия, история, культура, 2025. – 33с.

11.Чуешов В.И. Искусственный и естественный интеллект в образовании: от противостояния к новому союзу/ В.И. Чуешов // Интеллектуальная культура Беларуси: гуманитарная безопасность в условиях глобальных вызовов: материалы

Седьмой междунар. науч. конф. (16–17 ноября 2023 г., г. Минск). В 2 т. Т. 1 / Ин-т философии НАН Беларуси; редкол. А. А. Лазаревич (пред.) [и др.]. – Минск: Четыре четверти, 2023. – С.130-132.

ФИЛОСОФИЯ ЦИФРОВОЙ ЭПОХИ: ОНТОЛОГИЯ, ЭПИСТЕМОЛОГИЯ И ЭТИКА

Дудкина Е.А., магистрант группы 476701

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Чуешов В.И. – Доктор философских наук, профессор

В статье рассматриваются философские аспекты цифровой эпохи, включая онтологию информации, киберпространства и искусственного интеллекта, а также их влияние на процессы познания и этические вызовы. Освещаются вопросы достоверности информации, алгоритмической прозрачности и цифрового неравенства. Анализируется роль онтологий в объяснимом искусственном интеллекте (XAI) и больших языковых моделях (LLM). Подчеркивается необходимость разработки этических норм и механизмов регулирования цифровых технологий.

Цифровые технологии трансформируют все сферы жизни, создавая новые философские и этические вызовы, требующие осмысления.

В условиях цифровой эпохи онтология приобретает новое значение, так как технологии трансформируют саму структуру реальности, создавая виртуальные пространства, которые становятся не менее значимыми, чем материальный мир [1].

Информация, будучи ключевой онтологической категорией, играет центральную роль в этой трансформации. «Как отмечает В.И. Чуешов, философская рефлексия исторически трансформировала представления о производстве и обладании информацией, превращая их из мифолого-религиозных в рационально-критические, что особенно актуально в условиях цифровой эпохи, где вопросы владения и распределения данных требуют новых этических и методологических подходов» [13]. Современные технологии предлагают новый способ существования, основанный на симуляции, программировании и сетевом взаимодействии. Это приводит к формированию виртуальной реальности, которая становится не просто дополнением, а во многом альтернативой физическому миру [2].

Понятие киберпространства занимает важное место в современных исследованиях цифровой среды, однако до сих пор не имеет универсального определения. Термин происходит от сочетания слов «кибернетика» и «пространство», где кибернетика представляет собой науку об управлении и передаче информации, а пространство в этом контексте обозначает среду, наполненную цифровыми объектами и событиями [2]. Таким образом, киберпространство можно рассматривать как информационную среду, структурированную данными и алгоритмами, в которой человек становится активным участником.

На современном этапе развития информационных технологий границы между киберпространством и виртуальной реальностью становятся всё более размытыми. Согласно Р.И. Вылкову, «каждый вид виртуальной реальности обладает пространственными характеристиками, которые возможны исключительно в рамках киберпространства» [3]. В свою очередь, И.А. Негодаев определяет компьютерную виртуальную реальность как интерактивно-графическое представление киберпространства [4]. Однако, как отмечает Т.А. Кирик, принципиальное различие заключается в том, что виртуальная реальность начинается там, где человек вступает во взаимодействие с киберпространством, делая его субъективно переживаемым [5].

Однако, цифровая трансформация не ограничивается только киберпространством и его культурным аспектами. Важным элементом современной технологической реальности становится искусственный интеллект, который активно изменяет не только способы взаимодействия человека с цифровой средой, но и саму структуру знаний и принятия решений. Задача считается интеллектуальной, если её решение не может быть заранее запрограммировано и требует нестандартного алгоритмического решения.

В искусственном интеллекте и информатике онтология представляет собой формальное и явное описание концептуальной модели предметной области [6]:

1.Формальность: Онтологии строятся по строгим правилам и спецификациям, часто используя формальную логику для точного, непротиворечивого и совместимого представления знаний.

2.Явная спецификация: Онтологии явно определяют понятия, их характеристики и взаимосвязи, документируя это с помощью формальных языков.

3.Концептуализация: Онтологии отражают базовую структуру и смысл предметной области, определяя ключевые понятия и связи, абстрагируясь от частных примеров. Это упрощает анализ и вывод информации.

Онтологии существенно повышают прозрачность, интерпретируемость и подотчётность больших языковых моделей, предоставляя структурированную информацию о предметной области. Интеграция онтологий делает системы ИИ понятнее, надёжнее и этичнее, отвечая современным требованиям к объяснимому ИИ.

Внедрение новых информационных технологий весьма сильно влияет и на развитие науки. Развитие современных технологий привело к тому, что современному учёному непросто обнаружить представляющую для него интерес информацию. Действительно, необходимая научная информация погружена в общий информативный поток, который за последние десятилетия вырос в тысячи раз, однако выделить из этого потока то, что необходимо, оказывается нелёгкой задачей. В результате создается положение, когда учёный страдает от избытка информации так же, как от её недостатка [7].

Высказывание Ю. Магаршака ярко иллюстрирует текущую ситуацию: «Сейчас человеческий ум находится под воздействием чрезвычайно агрессивной и несбалансированной информации. В результате для каждого из нас главным становятся отбор и фильтрация информации вместо ее восприятия. Искусство фильтровать информацию стало, как минимум, столь же важным, как познание и созидание» [8].

В условиях цифровой эпохи, когда требования к достоверности данных постоянно изменяются, необходимо не только учитывать технологические аспекты, но и разрабатывать юридические рамки для регулирования открытости и точности информации. Вопросы достоверности данных влекут за собой не только вопросы безопасности, но и юридической ответственности за распространение ложных или манипулятивных сведений, что требует внимания к правовым аспектам в эпоху цифровых изменений [9].

Достижения в области искусственного интеллекта привлекли внимание общественности к цифровой этике и являются движущей силой многих дискуссий по этическим вопросам, связанным с цифровыми технологиями [10].

Этика искусственного интеллекта изучает моральную ответственность разработчиков интеллектуальных систем за последствия их функционирования.

Выделяют следующие этические проблемы, возникающие при использовании технологий искусственного интеллекта [11, 12]:

1) этические проблемы с системами искусственного интеллекта как объектами, то есть инструментами, созданными и используемыми людьми (конфиденциальность, непрозрачность, предвзятость);

2) этические проблемы с системами искусственного интеллекта в качестве субъектов, то есть этика самих систем искусственного интеллекта (искусственная мораль, машинная этика);

3) проблема возможного будущего сверхразума искусственного интеллекта, ведущего к «технологической сингулярности», то есть моменту, когда развитие искусственного интеллекта станет неуправляемым и необратимым, что приведет к радикальному изменению характера человеческой цивилизации.

Цифровая эпоха, несомненно, радикально изменила все сферы человеческой жизни. Онтология информации, киберпространства и искусственного интеллекта представляет собой ключ к пониманию изменений, происходящих в современном мире, где данные, алгоритмы и технологии играют центральную роль в формировании нового способа бытия.

Необходимость разработки этических норм и критериев для обеспечения прозрачности и доверия в использовании технологий, таких как искусственный интеллект и большие данные, становится важной задачей.

Список использованных источников:

1.Студенческий справочник [Электронный ресурс] : [сайт]. – Минск, 2025. – URL: https://spravochnick.ru/filosofiya/ontologiya/ (дата обращения: 13.03.2025).

2.Отраднова, О. А. Информация как онтологическая категория / О. А. Отраднова // Молодой ученый. – 2012. – № 10 (45). – С. 169–174.

3.Петлина, М. А. Социально-философские аспекты киберпространства / М. А. Петлина // Вестник Омского университета. – 2014. – № 3. – С. 89–90.

4.Негодаев, И. А. Информатизация культуры : монография / И. А. Негодаев. – Ростов н/Д : Книга, 2003. – 320 с.

Кирик, Т. А. Виртуальная реальность и ее онтологические прототипы / Т. А. Кирик. – Курган : Изд-во Курганского гос. ун-та, 2007. – 134 с.

Medium [Электронный ресурс] : [сайт]. – Минск, 2025. – URL: https://medium.com/@nfigay/what-is-an-ontology-in-the-artificial-intelligence-context-b0f935d34aab (дата обращения: 13.03.2025).

5.Караваев, Н. Л. О роли информационных технологий в познании / Н. Л. Караваев // Вестник Вятского государственного университета. – 2011. – С. 15–17.

6.Магаршак, Ю. О. О пользе незнания / Ю. О. Магаршак // Знание – сила. – 2007. – № 3. – С. 38.

7.Кутафина, О. Е. Цифровая трансформация и проблемы обеспечения достоверности информации / О. Е. Кутафина // Вестник аграрного и земельного права. – 2020. – С. 130–132.

8.Шляпников, В. В. Некоторые проблемы этики искусственного интеллекта / В. В. Шляпников // Вестник "Идеи и идеалы". – 2023. – С. 365–376.

9.Machine Ethics / ed. by M. Anderson, S. Anderson. – New York ; Cambridge : Cambridge University Press, 2011. – 548 p.

10.Buch, V. H. Artificial intelligence in medicine: current trends and future possibilities / V. H. Buch, I. Ahmed, M. Maruthappu // British Journal of General Practice. – 2018. – Vol. 68, iss. 668. – P. 143–144.

11.Чуешов, В. И. Старые уроки философской рефлексии производства и обладания информацией и их значение для информационного общества / В. И. Чуешов // Библиотека БГУИР [Электронный ресурс]. – Минск, 2025. – URL: https://libeldoc.bsuir.by/bitstream/123456789/58397/1/CHueshov_Starye.pdf (дата обращения: 31.03.2025).

УДК 316.472.4

СОЦИАЛЬНЫЙ КАПИТАЛ: ОСНОВНЫЕ КОНЦЕПЦИИ, ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ И МЕТОДОЛОГИИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Саблина А.И., магистрант гр.476701

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Чуешов В.И. – доктор философских наук, профессор

Аннотация. В статье анализируется концепция социального капитала, представлены исторические предпосылки и современные подходы к его изучению, раскрываются основные элементы: доверие, социальные сети и социальные нормы. Рассмотрены теории социального капитала Бурдье, Коулмана и Патнэма, показана их роль в цифровизации общества, социальной интеграции и экономическом развитии. Обсуждаются количественные и качественные методы исследования, выявляются преимущества междисциплинарного подхода и его ограничения. Представлены примеры практического значения социального капитала в международном контексте.

Ключевые слова. Социальный капитал, доверие, социальные сети, нормы взаимопомощи, кооперация, междисциплинарные подходы, количественные методы, качественные методы, социальная философия.

Введение.

Актуальность изучения социального капитала обусловлена его ролью в социальной стабильности и развитии общества, особенно в условиях цифровизации и глобальных изменений. А. Вишневский подчёркивает значимость человеческого потенциала, цитируя Достоевского: «Люди дороже денег, они не продаются, а веками выделываются».

Современные исследования социального капитала на постсоветском пространстве подтверждают влияние социального капитала на цифровую образовательную среду (Кузнецов, 2022), модернизацию местных сообществ, гражданскую активность и политическую стабильность (Подручный, 2022) [1- 2]. Герасимова (2023) выделяет механизмы управления социальным капиталом, способствующие развитию устойчивых общественно-экономических связей [3]. Эти исследования подчеркивают значение социального капитала как ресурса для формирования гибких и адаптивных социальных систем, способных эффективно реагировать на вызовы времени.

Основная часть.

Социальный капитал представляет собой ресурсы, возникающие из социальных сетей, доверия и норм взаимопомощи, облегчающих взаимодействие и кооперацию в обществе. Социальные связи и доверие влияют на экономическое развитие, политическую стабильность и культурные отношения [4].

Основные элементы социального капитала — доверие, социальные сети и социальные нормы. Доверие снижает неопределенность и транзакционные издержки, облегчает взаимодействие на основе неформальных соглашений. Джеймс Коулман подчеркивал, что именно доверие позволяет эффективно функционировать обществу без жесткого контроля, опираясь на устные договорённости и обязательства [5]. Социальные сети служат каналами для обмена информацией и ресурсами, способствуют взаимной поддержке. Социальные нормы регулируют поведение в сетях, развивают альтруизм и коллективные действия, особенно важные в кризисных ситуациях.

Исторически концепция социального капитала восходит к работам Эмиля Дюркгейма, подчеркнувшего роль социальных связей и норм взаимопомощи для общественной солидарности и порядка в условиях усложнения социальной структуры [6]. Современные представления сформировались благодаря работам Пьера Бурдье, Джеймса Коулмана и Роберта Патнэма.

Пьер Бурдье рассматривал социальный капитал как ресурсы, доступные индивиду благодаря устойчивым социальным связям. Он отметил роль социального капитала в воспроизводстве социального неравенства, так как доступ к нему зависит от социальных позиций и культурного капитала. Например, членство в престижных группах обеспечивает доступ к дополнительным ресурсам, закрепляя привилегированные позиции отдельных групп [7].

Джеймс Коулман предложил функциональный подход, рассматривая социальный капитал как результат социальных взаимодействий и структур. Доверие, взаимные обязательства и нормы облегчают коллективные действия, снижая транзакционные издержки и улучшая решение общественных задач. Коулман приводил в пример образовательные учреждения, где плотные социальные связи между учителями, учениками и родителями улучшают образовательные результаты и социальную интеграцию [8].

Роберт Патнэм различал связывающий (bonding) и мостовой (bridging) виды социального капитала. Связывающий капитал формирует сплоченность внутри однородных групп, а мостовой — связи между разными социальными группами, расширяя доступ к ресурсам и укрепляя социальную интеграцию.

Патнэм подчеркивал, что снижение мостового капитала негативно влияет на демократию и гражданскую активность, приводя к социальной фрагментации и снижению качества общественной жизни.

Современные исследования изучают цифровой социальный капитал, формирующийся в виртуальной среде. Социальные сети (например, Facebook, LinkedIn) расширяют возможности накопления и использования социального капитала, облегчая глобальную коммуникацию, но также могут усиливать социальную эксклюзию и коррупцию [9]. Фрэнсис Фукуяма отмечает, что культурная специфика влияет на проявления социального капитала, что требует особого подхода при разработке социальных и экономических политик [10].

Вывод

Теоретические подходы Бурдье, Коулмана и Патнэма дополняют друг друга, раскрывая социальный капитал как ресурс, обеспечивающий устойчивость и эффективность социальных систем на разных уровнях.

Исследования социального капитала используют количественные и качественные методы. Количественные методы, такие как индекс Патнэма и Европейский социальный опрос, оценивают участие в общественной жизни и уровень доверия. Однако они склонны к редукционизму и могут упускать контекстуальные детали [11]. Качественные методы (интервью, наблюдения, кейс-стади) позволяют более глубоко понять субъективные восприятия и социальные взаимодействия в конкретных условиях [12].

Перспективным является междисциплинарный подход, сочетающий социологию, экономику, психологию и философию, хотя это требует преодоления терминологических и методологических барьеров между дисциплинами [13]. Этические ограничения количественных методов могут приводить к искажениям при изучении феноменов доверия и счастья, упуская культурные и контекстные особенности [14].

Международный опыт подтверждает практическую значимость социального капитала. Снижение социального капитала негативно влияет на демократическую активность и социальную сплочённость [10]. В Японии социальный капитал способствовал восстановлению после катастрофы на Фукусиме-1 [15]. В Скандинавии он поддерживает низкий уровень коррупции и высокое доверие к общественным институтам [16]. В России, согласно В. И. Чуешову и В. В. Богатыревой, социальный капитал способствует экономическому росту через доверие и сети взаимодействия [17].

Список использованных источников:

1. *Кузнецов, Р. С., Кузнецов, И. С. Социальный Капитал Студентов В Цифровой Образовательной Среде: Аудиторный И Дистанционный Форматы Обучения // Снисп. – 2022. – № 3 (39). – Url: Https://Cyberleninka.Ru/Article/N/Sotsialnyy-Kapital-Studentov-V-Tsifrovoy-Obrazovatelnoy-Srede-Auditornyy-I-Distantsionnyy-Formaty-Obucheniya (Дата Обращения: 15.12.2024).*
2. *Подручный, М. В. Социальный Капитал Как Фактор Социальной Модернизации // Труды Бгту. Серия 6: История, Философия. – 2022. – № 2 (263). – Url: Https://Cyberleninka.Ru/Article/N/Sotsialnyy-Kapital-Kak-Faktor-Sotsialnoy-Modernizatsii (Дата Обращения: 15.12.2024).*
3. *Герасимова, Л. А. Социальный Капитал Современного Российского Общества: Ключевые Механизмы Управления И Тенденции Развития // Концепт. – 2023. – № 6. – Url: Https://Cyberleninka.Ru/Article/N/Sotsialnyy-Kapital-Sovremennogo-Rossiyskogo-Obschestva-Klyuchevye-Mehanizmy-Upravleniya-I-Tendentsii-Razvitiya (Дата Обращения: 15.12.2024).*
4. *Коулман, Дж. Foundations Of Social Theory. – Cambridge: Harvard University Press, 1990.*
5. *Дюркгейм, Э. О Разделении Труда В Обществе. – Париж: Алькян, 1996.*
6. *Бурдье, П. Социальный Капитал: Теоретические И Эмпирические Исследования. – Париж: Мино, 1986.*
7. *Коулман, Дж. Foundations Of Social Theory. – Cambridge: Harvard University Press, 1990.*
8. *Бурдье, П. Формы Капитала // Handbook Of Theory And Research For The Sociology Of Education. – 1986.*

1. *Portes, A. Social Capital: Its Origins And Applications In Modern Sociology // Annual Review Of Sociology. – 1998. – Vol. 24.*
2. *Fukuyama, F. Social Capital And Civil Society // International Monetary Fund Working Paper. – 2000.*
3. *Storr, N. A., Hirst, A. The Philosophy Of Social Capital: Bridging Quantitative And Qualitative Methodologies / N. A. Storr, A. Hirst. – Cambridge : Cambridge University Press, 2021. – 316 P. – Isbn: 978-1108477541.*
4. *Ramos, P., Lewis, K. Case Studies In Social Philosophy: Practical Approaches To Complex Issues / P. Ramos, K. Lewis. – London : Routledge, 2022. – 280 P. – Isbn: 978-0367541087.*
5. *Иванова, Т. Междисциплинарные Подходы В Социальной Философии: Интеграция Теорий И Методов / Т. Иванова. – Москва : Российская Академия Наук, 2020. – 254 С.*
6. *Курочкина, М., Бочарова, А. Этика И Методы Социального Измерения: Философское Исследование / М. Курочкина, А. Бочарова // Журнал Социальных Наук И Этики. – 2022. – Т. 40, № 2. – С. 58–73.*
7. *Кузьмина, О. Ю., Давлетбаев, Ф. Ф. Социальный Капитал И Его Влияние На Конфигурацию Рыночных Институтов / О. Ю. Кузьмина, Ф. Ф. Давлетбаев // Креативная Экономика. – 2023. – Т. 17, № 6. – С. 2115–2130. – Doi: 10.18334/Ce.17.6.117876.*
8. *Fitzpatrick, E., Baycan, T., Akgüngör, S. Social Capital And Rural Development: An Introduction To The Special Issue / E. Fitzpatrick, T. Baycan, S. Akgüngör // Annals Of Regional Science. – 2023. – Vol. 70. – P. 603–609. – Doi: 10.1007/S00168-023-01222-5.*
9. *Богатырева, В. В. Человеческий И Социальный Капитал Как Факторы Экономического Роста / В. В. Богатырева, В. И. Чуешов // Проблемы Современной Экономики. – 2020. – № 2. – С. 53–56. – Url: Https://Libeldoc.Bsuir.By/Handle/123456789/41616 (Дата Обращения: 23.12.2024).*

UDC 316.472.4

SOCIAL CAPITAL: BASIC CONCEPTS, THEORETICAL APPROACHES, AND RESEARCH METHODOLOGIES

Sablina A.I.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Chueshov V.I. - Doctor of Philosophical Sciences, Professors

Annotation. The article analyses the concept of social capital, outlining its historical foundations and contemporary theoretical approaches. The main elements—trust, social networks, and social norms—are explored. It discusses theories by Bourdieu, Coleman, and Putnam, highlighting their significance in societal digitalization, social integration, and economic development. The paper examines quantitative and qualitative research methods, identifies advantages and limitations of an interdisciplinary approach, and presents practical examples of social capital's importance in international contexts.

Keywords. Social capital, trust, social networks, norms of reciprocity, cooperation, interdisciplinary approaches, quantitative methods, qualitative methods, social philosophy.

УДК 316.42

ФИЛОСОФСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕОРИИ ПОКОЛЕНИЙ

Клименко И.В., магистрант гр.476701

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Чуешов В.И. – доктор философских наук, профессор

Аннотация. Исследование посвящено теории поколений как аналитическому инструменту для изучения социальных изменений. Рассматриваются основные концепции, предложенные К. Маннгеймом, Н. Хоуом и У. Штраусом, а также их адаптация к постсоветскому пространству. Особое внимание уделяется влиянию исторических событий, культурных трансформаций и технологических достижений на формирование коллективного сознания поколений. Рассмотрены критика теории и её применение в различных сферах, таких как политика, медиа и управление персоналом, с акцентом на региональные особенности и медиапотребление.

Ключевые слова. Теория поколений, поколенческий анализ, Маннгейм, Хоув, Штраус, постсоветское пространство, социальные изменения, философия истории.

Введение.

Поколенческий анализ представляет собой мощный инструмент для изучения социальных изменений, позволяющий глубже понять, как исторические события, культурные трансформации и технологические достижения формируют коллективное сознание. Как подчеркивал знаменитый социолог Т. Шанин, «влияние поколенческого раздела осознается многими, и его роль особенно возрастает в периоды глубоких изменений». Эта мысль акцентирует важность анализа поколений для понимания динамики социальных процессов в условиях перемен [1].

Цель данного исследования – рассмотреть теорию поколений как аналитический инструмент, изучить её философские аспекты через призму подходов К. Маннгейма, Н. Хоува и У. Штрауса, а также проанализировать её адаптацию к постсоветскому пространству.

В последние годы актуальность поколенческого анализа подтвердилась рядом исследований, подчеркивающих его значимость для понимания социальных изменений и процессов формирования коллективного сознания. Теория поколений активно используется в различных сферах: в политике (Рязанцева, 2023), в современных медиа (Сиволап, 2023) и в управлении персоналом (Шумилина, 2024) [2-4].

При анализе применения теории поколений в разных областях можно выделить несколько ключевых направлений. В области политики и управления персоналом акцент сделан на различиях в ценностных ориентирах и предпочтениях между поколениями, что позволяет адаптировать стратегические подходы и коммуникационные практики в соответствии с потребностями и особенностями каждой группы. В медиасфере же основное внимание уделяется анализу факторов доверия к различным источникам информации среди поколений, что способствует более точному таргетированию контента и улучшению взаимодействия с аудиторией. Таким образом, несмотря на различия в фокусах этих исследований, все они подтверждают значимость учета поколенческих особенностей для более эффективного взаимодействия с различными социальными группами

Основная часть.

Поколенческий анализ представляет собой метод исследования социальных изменений, основывающийся на выявлении особенностей поведения, ценностей и коллективного сознания людей, сформированных в определённый исторический период. Сущность данного подхода заключается в выделении групп людей (поколений), объединённых общим опытом переживания значимых исторических, культурных или технологических событий, которые определяют их социальные и психологические характеристики [2, 3]. Среди основных подходов к изучению поколений выделяются концепция К. Маннгейма, рассматривающая поколения с позиции коллективного опыта, и циклическая теория Н. Хоува и В. Штрауса, акцентирующая внимание на повторяющихся архетипах поколений и циклах социальных изменений [5–7].

Одной из ключевых теоретических основ поколенческого подхода является концепция К. Маннгейма, подробно изложенная в его работе-эссе «Проблема поколений». Маннгейм рассматривает поколения как социальные группы, объединенные не только общим возрастом, но и общим историческим опытом, который оказывает значительное влияние на формирование их коллективного сознания и социальных установок. Он вводит три фундаментальных понятия: «поколенное положение», «поколенная взаимосвязь» и «поколенное единство» [5-6].

Поколенное положение определяется Маннгеймом как объективная принадлежность индивидов к определённому временному промежутку и социальному контексту. По его мнению, представители одного поколения находятся в сходных условиях существования, сталкиваясь с одинаковыми

социальными вызовами и историческими обстоятельствами. Это положение формирует базовые рамки, в пределах которых развивается индивидуальный и коллективный опыт, что влияет на возможности и социальные роли поколений [6].

Поколенная взаимосвязь, согласно Маннгейму, базируется на общности жизненных проблем и интересов, обусловленных одинаковым поколенным положением. Представители поколения осознают схожесть своих социальных задач и вызовов, что способствует формированию общих взглядов и ценностей. При этом Маннгейм подчеркивает, что смена поколений обеспечивает постоянную трансформацию общества за счет того, что каждое новое поколение принимает или отвергает определённые элементы существующего социального контекста, таким образом обеспечивая преемственность и постепенные изменения в социальной структуре [5-6].

Поколенное единство выражается в осознании представителями поколения своей принадлежности к особой социальной группе, обладающей уникальным опытом, культурой и социальными установками. Маннгейм полагал, что ключевым этапом для формирования этого единства является поздний подростковый возраст. Именно в это время происходит наиболее глубокое восприятие значимых исторических событий, которые впоследствии становятся основой для коллективного сознания и социальной идентичности поколения [6].

Исторические события, по Маннгейму, играют центральную роль в формировании поколений, так как каждое значимое событие воспринимается молодыми людьми особенно остро и становится определяющим для дальнейшего развития их социальных и культурных установок. Этот коллективный опыт делает каждое поколение носителем специфического исторического восприятия, благодаря которому общество постоянно обновляется, адаптируясь к изменяющимся условиям [5].

Значение подхода Маннгейма для социальных исследований заключается в том, что он предложил методологию изучения общества через призму поколенческого опыта, позволяя глубже понять механизмы социальных трансформаций и динамику коллективных представлений. Концепция Маннгейма заложила фундамент для дальнейших поколенческих теорий, таких как теория поколений Хоува и Штрауса, и широко применяется в современной социологии, политологии, культурологии и практике управления [3–5].

Наиболее популярной и широко используемой версией поколенческого подхода является теория американских исследователей Н. Хоува и У. Штрауса, представленная в их фундаментальном труде «Поколения», впервые опубликованном в 1991 году. Основная идея этой теории заключается в рассмотрении истории общества как циклического процесса, обусловленного регулярной сменой поколений, происходящей примерно каждые 20–25 лет [7-8].

Согласно концепции Хоува и Штрауса, каждое поколение формируется под влиянием уникальных исторических и социальных обстоятельств, которые определяют его ключевые характеристики, поведенческие установки и мировоззренческие ориентиры. Исследователи выделили четыре ключевых поколения в XX веке: поколение победителей (1900–1923), молчаливое поколение (1923–1943), беби-бумеры (1943–1963) и поколение X (1963–1984). Позднее теория была дополнена поколениями Y (миллениалы, 1984–2000) и Z (с 2000 года) [8-9].

Авторы используют три ключевых критерия идентификации поколений. Во-первых, представители одного поколения живут в схожих исторических условиях, переживая важные события в одни и те же жизненные периоды. Во-вторых, они демонстрируют общность взглядов, убеждений и поведенческих паттернов. В-третьих, представители поколения испытывают осознание принадлежности к своей возрастной группе, что способствует формированию особой социальной идентичности и коллективного сознания [7].

Каждое поколение характеризуется рядом типичных качеств. Например, поколение победителей отличалось приверженностью идеалам, трудолюбием и ответственностью. Молчаливое поколение было склонно к соблюдению социальных норм и терпеливому отношению к жизни. Для беби-бумеров характерны оптимизм, личностный рост и командный дух. Поколение X ценит свободу выбора, индивидуализм и гибкость, поколение Y стремится получать удовольствие от работы и высоко ценит корпоративную культуру, а поколение Z, так называемое «цифровое поколение», характеризуется активным использованием технологий и предпочтением интерактивных форм обучения и коммуникации [8-9].

В наши дни подход Хоува и Штрауса не только поддерживается, но и подвергается определённой критике. Среди основных недостатков отмечается чрезмерная схематизация, игнорирование межиндивидуальных различий и чрезмерная обобщённость характеристик поколений. Также указывают, что в этой теории недостаточно раскрыты причины, по которым именно определённые события оказывают влияние на формирование поколений, отсутствует строгая статистическая обоснованность. Кроме того, возникают сложности при адаптации данной модели к условиям различных стран, так как исторические события и социальные реалии могут существенно отличаться от американских [10-12].

Тем не менее, с нашей точки зрения теория поколений Хоува-Штрауса является важным инструментом анализа социальных и культурных изменений, помогая выявлять тенденции развития общества и объяснять различия в восприятии мира представителями разных возрастных групп.

Философское значение данного подхода состоит в том, что циклическая смена поколений рассматривается не просто как биологический феномен, а как отражение глубинных структурных изменений в обществе [7-9].

На постсоветском пространстве теория поколений получила активное развитие, что привело к возникновению нескольких оригинальных адаптаций, отражающих специфический опыт советского и постсоветского общества. Наиболее известными и влиятельными оказались концепция «значимых поколений» Ю. А. Левады и адаптация теории Хоува-Штрауса, предложенная командой Е. Шамис.

Концепция Ю. А. Левады отличается акцентом на исторических событиях, которые формируют так называемые «значимые поколения». Под «значимыми поколениями» Левада понимал группы людей, чьи социальные установки, модели поведения и мировосприятие формировались под влиянием крупных исторических эпох, таких как революция, сталинская эпоха, Великая Отечественная война, период «оттепели», застой и перестройка [13]. Например, «поколение революционного перелома» (1905–1930 гг.) сформировалось на фоне глубоких социальных и политических потрясений, войн и революций. «Поколение сталинской мобилизации» (1930–1941 гг.) воспитывалось в условиях коллективизации и массовых репрессий, характеризуясь монолитностью взглядов и принудительным единомыслием. Следующее за ним «военное поколение» (1941–1953 гг.) столкнулось с экстремальными условиями войны и её последствиями, а затем и с началом Холодной войны, что способствовало усилению внутреннего единства общества на фоне внешних угроз [13].

Концепция Левады выделяется тем, что поколения здесь рассматриваются не просто по биологическим признакам, а через социальные и политические условия, формирующие уникальный коллективный опыт, который задает направления дальнейшего развития общества. Данный подход подчёркивает значимость исторических периодов как ключевого фактора в формировании идентичности и социальных ролей поколений, обеспечивая понимание общества «сверху» — через формирование управленческих элит и господствующих социальных практик [13].

С другой стороны, команда исследователей под руководством Е. Шамис провела прямую адаптацию теории поколений Хоува-Штрауса к российским условиям, сохранив её шестипоколенческую структуру, однако существенно адаптировав её под специфику советской и постсоветской истории. Поколения были описаны следующим образом: «поколение победителей» (1900–1923 гг.), «молчаливое поколение» (1923–1943 гг.), «беби-бумеры» (1943–1963 гг.), «поколение X» (1963–1983 гг.), «поколение Y» (1983–2003 гг.) и «поколение Z» (с 2003 года). В адаптации Шамис учитывались ключевые события российской истории (революция, репрессии, война, оттепель, распад СССР, экономический кризис), формирующие уникальные ценностные ориентиры поколений в России. Например, поколение X, сформированное в условиях застоя и перестройки, отличается высоким индивидуализмом, прагматизмом и глобальной информированностью, а поколение Y формировалось под влиянием крушения СССР, распространения Интернета и глобализации [14-15].

Дополнительным важным измерением поколенческого анализа стала концепция медиапотребления, предложенная российскими учеными А. С. Сумским и С. А. Свердловой. Авторы рассматривают поколения через призму их взаимодействия со средствами массовой информации (СМИ), выделяя три основные группы: аналоговые поколения, выросшие до эпохи цифровых технологий и ориентированные на традиционные СМИ; «эхо-поколение» (поколение X), адаптировавшееся к цифровым изменениям и использующее одновременно несколько видов СМИ; и цифровые поколения (Y, Z и Альфа), для которых цифровые технологии стали неотъемлемой частью жизни и важнейшим способом получения информации [16-17]. Такой подход позволяет учесть не только исторические события, но и технологические изменения, оказавшие решающее влияние на формирование ценностных установок и поведенческих паттернов поколений.

Заключение.

Современное использование и адаптация теории поколений на постсоветском пространстве демонстрирует как универсальность, так и специфичность поколенческого подхода, отражая уникальные исторические и культурные условия региона и подтверждая значимость технологии и медиапотребления в формировании новых поколенческих групп.

Концепции Маннгейма, Хоува-Штрауса, а также подходы Левады и Шамис объединяет идея о том, что поколения формируются под воздействием уникального исторического и социального опыта. Общим для всех подходов является признание важности исторических событий в формировании коллективного сознания. Однако теория Маннгейма концентрируется на философском осмыслении поколений как носителей коллективного опыта, в то время как Хоув и Штраус акцентируют внимание на цикличности исторического процесса и повторяющихся архетипах поколений. Российские адаптации, в частности Левады и Шамис, дополняют классические модели региональными и историческими особенностями, включая влияние СМИ и технологий на социальное поведение и идентичность поколений. Философское значение этих подходов заключается в понимании общества не только как линейно развивающейся структуры, но и как системы, подвергающейся циклическим изменениям через смену поколений.

Теория поколений является эффективным инструментом анализа социальных изменений, позволяющим выявлять глубинные закономерности в развитии общества. Несмотря на некоторые

ограничения, связанные с возможной схематичностью и региональной спецификой, она обладает значительным потенциалом применения в социологии, политике, медиа-коммуникациях и управлении персоналом. Важнейшее преимущество поколенческого подхода заключается в способности интегрировать исторический, культурный и технологический контексты, делая его универсальным инструментом для понимания сложных социальных процессов в современных условиях.

Список использованных источников:

1. *Шанин Т. История поколений и поколенческая история России // Южно-российский журнал социальных наук. – 2005. – № 3. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/istoriya-pokoleniy-i-pokolencheskaya-istoriya-rossii (дата обращения: 27.03.2025).*
2. *Рязанцева, М. Д., Крайнюкова, А. К., Нижельская, Ю. А. Теория поколений и коммуникации / М. Д. Рязанцева, А. К. Крайнюкова, Ю. А. Нижельская // Вестник науки. – 2023. – № 5 (62). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/teoriya-pokoleniy-i-kommunikatsii (дата обращения: 08.12.2024).*
3. *Сиволап, Л. А., Шикова, Л. В. Управление персоналом с учётом теории поколений / Л. А. Сиволап, Л. В. Шикова // Вестник Государственного университета просвещения. Серия: Экономика. – 2023. – № 2. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-personalom-s-uchyotom-teorii-pokoleniy (дата обращения: 08.12.2024).*
4. *Шумилина П. Д. Сравнительный анализ факторов доверия к медиа у аудитории Y и Z: поколенческий аспект // Социология. – 2024. – № 11. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-faktorov-doveriya-k-media-u-auditorii-y-i-z-pokolencheskiy-aspekt (дата обращения: 27.03.2025).*
5. *Ковин, Е. А., Лысенко, О. В. Теория поколений в контексте социологии управления / Е. А. Ковин, О. В. Лысенко // Научный результат. Социология и управление. – 2019. – № 4. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/teoriya-pokoleniy-v-kontekste-sotsiologii-upravleniya (дата обращения: 08.12.2024).*
6. *Радаев, В. Миллениалы: как меняется российское общество / В. Радаев. – Научное издание. – М. : Издательство НИУ ВШЭ, 2019. – 224 с.*
7. *Немцев, И. А. Теория поколений как ключ к пониманию коммуникационного процесса в обществе / И. А. Немцев // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2018. – № 12–1. – С. 135–140.*
8. *Татуйко, И. Н. Теория поколений [Электронный ресурс] / И. Н. Татуйко. – URL: https://fakel.tom.ru/wp-content/uploads/2020/11/Teoriya-pokolenij.pdf (дата обращения: 24.11.2024).*
9. *Федотова, В. В. Теория поколений и ее применение в мотивации персонала Республики Беларусь / В. В. Федотова // Труд. Профсоюзы. Общество. – 2018. – № 1 (59). – С. 85–89.*
10. *Данилова, Л. Н. Образовательный запрос поколения Альфа / Л. Н. Данилова // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Акмеология образования. Психология развития. – 2023. – № 1 (45). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/obrazovatelnyy-zapros-pokoleniya-alfa (дата обращения: 24.11.2024).*
11. *Jha, A. K. Understanding Generation Alpha [Electronic resource] / A. K. Jha. – URL: https://www.researchgate.net/publication/342347030_Understanding_Generation_Alpha (date of access: 24.11.2024).*
12. *Голубинская, А. В. К вопросу о поколенной модели Хоува-Штрауса / А. В. Голубинская // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2016. – № 1. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-o-pokolennoy-modeli-houva-shtrausa (дата обращения: 24.11.2024).*
13. *Ковин, Е. А. Критический анализ современных теорий поколений в социологии / Е. А. Ковин // StudNet. – 2020. – № 7. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/kriticheskiy-analiz-sovremennyh-teoriy-pokoleniy-v-sotsiologii (дата обращения: 24.11.2024).*
14. *Левада, Ю. П. Поколения XX века: возможности исследования / Ю. П. Левада // Мониторинг. – 2001. – № 5. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/pokoleniya-xx-veka-vozmozhnosti-issledovaniya (дата обращения: 27.11.2024).*
15. *Жаворонкова, А. А. Теории поколений в России: миф или реальность? / А. А. Жаворонкова // Образование. Наука. Научные кадры. – 2023. – № 4. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/teorii-pokoleniy-v-rossii-mif-ili-realnost (дата обращения: 27.11.2024).*
16. *Шамис, Е., Никонов, Е. Ценности разных поколений в России на 2020 год [Электронный ресурс] / Е. Шамис, Е. Никонов. – URL: https://rugenerations.su/2020/06/17/%d1%86%d0%b5%d0%bd%d0%bd%d0%be%d1%81%d1%82%d0%b8-%d1%80%d0%b0%d0%b7%d0%bd%d1%8b%d1%85-%d0%bf%d0%be%d0%ba%d0%be%d0%bb%d0%b5%d0%bd%d0%b8%d0%b9-%d0%b2-%d1%80%d0%be%d1%81%d1%81%d0%b8%d0%b8-%d0%bd%d0%b0-20/ (дата обращения: 24.11.2024).*
17. *Жаворонкова, А. А. Теории поколений в России: миф или реальность? / А. А. Жаворонкова // Образование. Наука. Научные кадры. – 2023. – № 4. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/teorii-pokoleniy-v-rossii-mif-ili-realnost (дата обращения: 27.11.2024).*

UDC 316.42

PHILOSOPHICAL ASPECTS OF GENERATION THEORY

Klimenko I.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Chueshov V.I. - Doctor of Philosophical Sciences, Professors

Annotation. The study is dedicated to the theory of generations as an analytical tool for studying social changes. It examines the key concepts proposed by K. Mannheim, N. Howe, and W. Strauss, as well as their adaptation to the post-Soviet space. Special attention is given to the influence of historical events, cultural transformations, and technological advancements on the formation of collective consciousness among generations. The critique of the theory and its application in various fields, such as politics, media, and human resources management, are discussed, with an emphasis on regional features and media consumption.

Keywords. Generation theory, generational analysis, Mannheim, Howe, Strauss, post-Soviet context, social change, philosophy of history.

УДК 004.946:159.923.5

ЧЕЛОВЕК В СИСТЕМЕ ВИРТУАЛЬНЫХ СОЦИАЛЬНЫХ КОММУНИКАЦИЙ. ЛИЧНОСТЬ И ОБЩЕСТВО

Кабак Н.О., магистрант гр. 476741

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Малыхина Г.И. – канд. философских наук

Аннотация. В статье рассматривается человек как личность, его потребности и взаимоотношения в обществе, определяются способы удовлетворения потребностей через социальную коммуникацию. Виртуальные социальные коммуникации – неотъемлемая часть современного информационного общества. Раскрываются основные аспекты социальных сетей, положительное и отрицательное влияние виртуальных социальных коммуникаций на жизнь человека.

Ключевые слова. Человек, личность, общество, коммуникации, социальные сети, виртуальные коммуникации, виртуальные сообщества.

Человек – это субъект общественно-исторического процесса, развития материальной и духовной культуры на земле, биосоциальное существо, генетически связанное с другими формами жизни, но выделившееся из них благодаря способности производить орудия труда, обладающее членораздельной речью и сознанием, нравственными качествами. Как целостное существо в единстве биологического, социального и духовного «кругов бытия» человек представляет собой уникальное явление [1]. Рассматривая человека в многообразии его характеристик, пользуются такими понятиями, как: «индивид», «индивидуальность», «личность». Понятие «индивид» характеризует человека как отдельного представителя рода человеческого, индивидуальность включает в себя совокупность отличительных черт личности, понятие «личность» представляет собой человека в результате его социализации и самоообразования [4].

Формирование и развитие личности происходит в процессе социализации, воспитания и социальной деятельности. Социализация представляет собой освоение и усвоение норм жизни в обществе. Важнейшие черты личности: социальность, активность, деятельность, креативность, ответственность и др. Современный человек включен в сложную и разветвленную систему социальных коммуникаций. Коммуникация – процесс установления и развития контактов между людьми, порождаемый потребностями в совместной социальной деятельности. Посредством социального общения человек осуществляет индивидуальный выбор и ранжирование социокультурных программ поведения, деятельности и общения. В процессах общения происходит формирование социальной позиции человека, его социального статуса и моделей поведения.

В условиях развития современных информационно-коммуникационных технологий формируется новый тип человеческой коммуникации – «сетевое общество», в котором утрачиваются непосредственные связи с реальным субъектом и реальным миром. В нём человек в большей степени имеет дело с анонимными адресатами и ситуациями коммуникации, в которых стираются пространственно – временные координаты аргументатора и аудитории, превращая процесс живого общения в виртуальную коммуникацию [1]. Такая реальность называется сетевой виртуальной реальностью. Сетевая виртуальная реальность стала естественной средой, где люди проводят все больше времени. Здесь люди находят область для своего развития, проявления творчества и самовыражения. Современное общество всё больше погружается в интерактивное общение. Этому феномену есть несколько объяснений: нехватка полноценного общения, самореализация и эксперименты, простота и доступность, доверие и безопасность. Нехватка полноценного общения объясняется тем, что люди не всегда получают достаточно внимания и понимания в реальной жизни, интерактивное общение восполняет этот пробел, позволяя делиться переживаниями и находить поддержку. Самореализация и эксперименты описываются тем, что в виртуальной реальности люди могут примерять разные роли, проявлять скрытые качества, переживать новые эмоции. Доверие и безопасность означает, что в сети проще делиться сокровенным, не опасаясь осуждения или критики, при этом всегда есть возможность прекратить общение, если оно становится неприятным.[8]

Ряд исследователей выделяют целый спектр положительных характеристик интерактивного общения с точки зрения личностного развития, например: автокоммуникация, дискуссионный стиль, использование ника, анонимность. При автокоммуникации тексты, посылаемые другому, одновременно становятся доступны и адресату, и адресанту. Дискуссионный стиль объясняется тем, что пользователи интернета часто спорят, дискутируют между собой, что развивает мышление, логику, способность к построению убедительного доказательства, находчивость и т.д.. Использование ника, т.е. условного

имени, предоставляет широкие возможности пользователям интернета в самопрезентировании. Анонимность позволяет пользователям отгородиться от мира.

Интерактивное общение имеет несколько различных аспектов. С одной стороны, это глобальное средство массовой иформации, значительно сокращающее время и границы социальных, личных и деловых коммуникаций. Также такое общение позволяет общаться с людьми, которых невозможно встретить в реальной жизни.

С другой стороны, оно может привести к социальной изоляции, межличностному отчуждению, потерям в ощущении времени и пространства реальной жизни. Активное взаимодействие с технологиями и компьютерное общение могут ограничить возможности человека в развитии навыков межличностного общения. Сокращение времени, отведенного на общение лицом к лицу, может привести к утрате важных социальных навыков, необходимых для успешного взаимодействия с окружающими.

Следовательно, зависимость от такого общения, также называемая интернет-зависимость, в ситуациях социальных коммуникаций может стать определенным барьером в реализации интимно-личностного взаимодействия, открытого обмена эмоциями и впечатлениями, неким суррогатом взаимовлияния, взаимопереживания и взаимодействия как показателей истинного общения [6]. Поэтому важно находить баланс между использованием современных технологий и поддержанием здоровых отношений в реальном мире.

Сетевое общество имеет большое количество различных элементов, наиболее важными из которых являются виртуальные сообщества и виртуальные коммуникации. Основные функции виртуальных сообществ: поддержка общения, обмен мнениями, получение информации. Формирование сообществ в сети Интернет обусловлено процессами глобализации, урбанизации, а также внутренними психологическими мотивами и социальными потребностями современного человека. Виртуальное сообщество – это совокупность социальных связей и отношений, опосредованных интернетом, целью которых является установление межличностного общения между людьми, создание сети друзей для реализации различных социальных потребностей.

Виртуальные сообщества отличаются от прочих виртуальных форм социальной интеграции, тем, что, во-первых, используют общий для всех членов канал коммуникации, во-вторых, имеют четкие границы, в-третьих, характеризуются общностью целей, интересов своих участников. Главным субъектом взаимодействия в виртуальных сообществах является пользователь.

Пользователь – человек, который имеет один или несколько профилей в разнообразных социальных сетях. В социальных сетях люди общаются и заводят новые знакомства. Виртуальное сообщество пользователей – совокупность пользователей, у которых интересы в течение некоторого времени близки, т.е. они получают доступ к одинаковым информационным объектам, размещенным на сайтах и предоставляющим интерес, при этом данная информация является полезной или развлекательной.

Виртуальные сообщества представляет собой форму межличностного взаимодействия, так как обеспечивает контакт двух и более субъектов, ориентированных на достижение какой-либо цели, т.е. виртуальные сообщества представляют собой виртуальные коммуникации между двумя и более людьми. Тем самым способствуют как организации социальных коммуникаций между людьми, так и реализации их социальных потребностей [4].

Виртуальные сообщества представляют собой эффективные инструменты для людей и способствуют углублению связей между культурами, преодолению языковых барьеров и созданию платформ для обмена ценным опытом. Тем не менее, несмотря на положительные аспекты, важно осознавать потенциальные риски, такие как распространение стереотипов и возможное искажение культурных представлений в сети [5].

Виртуальная коммуникация – это процесс общения с удаленным партнером или группой лиц, ограниченный смартфоном или же компьютером, закованный в рамки графического интерактивного общения. Выделяются следующие характеристики виртуальной коммуникации: интерактивность, доступность, мировой характер, анонимность членов беседы, широкий спектр возможностей создания вымышленной личности, размытость социальной иерархии и отсутствие нравственных и духовных ограничений. Все эти характеристики выливаются в обособленные виртуальные коммуникационные технологии, которые несут в себе несколько очень важных функций, таких как: функция удовлетворения потребностей в информации, коммуникативная функция, репрезентативная функция, саморепрезентативная функция, аффективная функция.

Функция удовлетворения потребностей в информации обуславливается тем, что интернет – это, прежде всего, огромное информационное пространство, в котором осуществляется поиск, передача и хранение информации. Коммуникативная функция представлена тем, что виртуальные компьютерные технологии позволяют сегодня общаться на больших расстояниях, в реальном времени и с отсрочкой во времени. Репрезентативная функция позволяет представлять результаты какой-либо своей работы и мыслительной деятельности. Саморепрезентативная функция дает возможность создавать свои личные профили, вести личный дневник, помещать там свои личные фотографии, комментарии, рассказывать о себе. Аффективная функция обеспечивает общение посредством удаленной

коммуникации, которое, несмотря на некоторую упрощенность по сравнению с межличностным общением, также окрашено эмоционально и также влияет на эмоциональный фон коммуникантов [7].

Виртуальные коммуникации возможны минимум для двух собеседников, которые обмениваются информацией в форме письменного диалога или диалога через призму камеры, подчеркивая тем самым виртуальность процесса. Виртуальная коммуникация дает определенный старт для развития личности каждого индивида, участвующего в этих отношениях. Взаимодействие в виртуальном пространстве становится главным способом общения молодежи, заменив собой привычные звонки по телефону или же живые встречи, тем самым нередко приводя к негативным последствиям. [3].

Одним из способов виртуальной коммуникации являются социальные сети. Все социальные сети имеют общие черты: они предлагают виртуальную платформу для самопрезентации, представления своих контактов, установления и поддержания связей с другими людьми [2].

Социальные сети стали неотъемлемой составляющей в рутине современного человека, интернет охватил все сферы жизнедеятельности. Основной функцией социальных сетей остается общение. В сети, как и в жизни, любой человек открыт как к восприятию опыта чужой культуры, так и к передачи своего. Такое взаимодействие представителей разных культур является определением термина «межкультурная коммуникация». Социальные сети оказывают положительное влияние на межкультурные коммуникации.

Социальные сети и виртуальное взаимодействие имеют значительное влияние на социальные отношения и коммуникацию. Вот некоторые положительные аспекты, которые стоит учесть: расширение социальной сети, упрощение коммуникации, возможность обмена информацией, создание виртуальных сообществ. Однако, необходимо также учитывать некоторые ограничения и негативные аспекты виртуального общения: отсутствие невербальных сигналов, отсутствие личной связи, зависимость и негативное воздействие [7].

Таким образом, виртуальные сообщества представляет собой форму межличностного взаимодействия, так как обеспечивает контакт двух и более субъектов, ориентированных на достижение какой-либо цели. Они способствуют как организации социальных коммуникаций между людьми, так и реализации их социальных потребностей [4]. Виртуальные социальные коммуникации играют важную роль в становлении личности, также они важны для комфортного функционирования в обществе. Здесь люди находят область для своего развития, проявления творчества и самовыражения. Перевод общения в виртуальный формат помимо удобства, большого круга знакомых может иметь и отрицательные черты, такие как: потеря реальности, усложнение коммуникации в условиях живого общения. Важно сохранять баланс между виртуальным общением и живым, чтобы не иметь трудностей в будущем. Информационные технологии развиваются, поэтому виртуальные коммуникации становятся всё более разнообразными, можно утверждать, что виртуальные социальные коммуникации не потеряют свою важность для общества в ближайшем будущем.

Список использованных источников:

1. Малыхина, Г. И. Философия и методология науки : учеб. пособие / Г. И. Малыхина, В. И. Чуешов, В. И. Миськевич. – Минск : БГУИР, 2017. – 274 с.

2. Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://publications.hse.ru/pubs/share/direct/310904697.pdf. – Дата доступа: 15.03.2025.

3. CYBERLENINKA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-virtualnye-kommunikatsii-na-primere-videoplatform/viewer. – Дата доступа: 27.03.2025.

4. Электронный научно-практический журнал «Психология, социология и педагогика» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://psychology.snauka.ru/2014/06/3341. Дата доступа: 20.03.2025.

5. CYBERLENINKA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-sotsialnyh-setey-na-mezhkulturnye-kommunikatsii/viewer. – Дата доступа: 29.03.2025.

6. Studme.org [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studme.org/235493/sotsiologiya/virtualnye_kommunikatsii. – Дата доступа: 25.03.2025.

7. Особенности виртуальной коммуникации / М. К. Апетян // Молодой ученый, 2015. – № 3 (83). – С. 939-941.

8. Психология общения в условиях виртуальной среды / М. А. Калихман // Молодой ученый, 2024. – № 24 (523). – С. 454-455.

UDC 004.946:159.923.5

HUMAN IN THE SYSTEM OF VIRTUAL SOCIAL COMMUNICATIONS. PERSONALITY AND SOCIETY

Kabak N.O.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Malykhina G.I. – Ph.D. of Philosophical

Annotation. The article considers a person as an individual, his needs and relationships in society, identifies ways to meet the needs through social communication. Virtual social communications are an integral part of modern information society. The main aspects of social networks, positive and negative impact of virtual social communications on human life are disclosed.

Keywords. Person, personality, society, communications, social networks, virtual communications, virtual communities.

ПРОБЛЕМА ЖИЗНИ И СМЕРТИ В ЭКЗИСТЕНЦИАЛЬНОМ ИЗМЕРЕНИИ

Ефремова А.Ю.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Малыхина Г.И. – канд. филос. наук

В статье рассматривается экзистенциальный подход к проблеме жизни и смерти в философии Мартина Хайдеггера и Мигеля де Унамуно. Анализируется, как осознание смерти как предельной возможности человеческого бытия формирует путь к подлинному существованию. Понятие «бытия-к-смерти» у Хайдеггера противопоставляется трагическому чувству жизни и стремлению к бессмертию у Унамуно. В результате проведено осмысление категорий жизни и смерти в контексте экзистенциального философского дискурса.

«Всякий вопрос – радость, всякий ответ – утрата» – всем известно, что истинный философ проводит жизнь не за поиском ответов, а за поиском вопросов [1]. Именно этот аспект и является основным отличием философии и науки в узком смысле этого слова: ученые ищут ответы на вопросы, поставленные им философами.

Вопрос жизни и смерти издавна занимает центральное место в философской мысли, однако именно экзистенциальная философия поставила его в центр человеческого бытия.

Экзистенциализм – это философия человеческого существования, которая строится на основе отрицания роли и ценности разума в разрешении проблем человеческой жизни [2].

В экзистенциализме жизнь и смерть осмысляются не как отвлечённые философские понятия, а как глубоко личные и остро переживаемые реалии, через которые раскрывается человеческое бытие.

Смерть играет в этой философии определяющую роль: она радикально обнажает конечность бытия и подталкивает к осознанию своей неповторимости.

Жизнь же предстает не как просто факт биологического выживания, а как процесс постоянного самоопределения – экзистенциальный проект, в котором человек строит самого себя, сталкиваясь с внутренней пустотой, чувством вины, отчуждением и одиночеством [2].

В данной статье будут компаративно представлены позиции двух философов – Мартина Хайдеггера и Мигеля де Унамуно.

Анализ понимания жизни и смерти у Мартина Хайдеггера проводится на основе его, пожалуй, главного труда – «Бытие и время» (Sein und Zeit, 1927), который представляет собой рассуждения о концепции человеческого бытия, разумеется, включающие также и интересующие нас понятия. Вместо устоявшихся идей об абсолютном причастии человека к общности других, Хайдеггер вводит понятие Dasein, которое трактуется как «бытие-здесь» или «присутствие». «Присутствие» Хайдеггера рассматривает человека как существо, способное к самоосознанию, постановке вопросов о своём существовании и к пониманию бытия в целом [1].

Жизнь, по Хайдеггеру, нельзя понять без постоянного осознания её конечности: «Как только человек рождается, он уже достаточно стар, чтобы умереть» [1]. Философ рассматривает человеческое бытие как «бытие-к-смерти» (Sein-zum-Tode), что наводит на мысль о том, что Хайдеггер рассматривает жизнь как стремление к конечности, однако это вовсе не означает, что философ призывает человека прожить дни в размышлении об этой конечности так, будто это неизбежная трагедия: «Ужас перед смертью есть ужас «перед» наиболее своей, безотносительной и необходимой способностью быть. Перед-чем этого ужаса есть само бытие-в-мире» [1].

Точно также как смерть не может существовать без жизни, так и жизнь не мыслима без смерти. Каждое начало имеет свой конец, ровно так же, как и конец имеет свое начало. Мартин Хайдеггер на этот вопрос отвечает следующим образом: «Смерть в широчайшем смысле есть феномен жизни» [1].

Смерть, по Хайдеггеру, не является просто событием в будущем, она всегда присутствует в человеческом бытии как его предельная возможность. Человек знает, что он смертен, и эта мысль структурирует всё его существование. При этом Хайдеггер подчёркивает: смерть нельзя пережить как опыт. Человек может видеть смерть других, но свою собственную смерть он может только предвосхитить. Такой подход делает смерть абсолютно личным, непреодолимо индивидуальным событием – «возможностью невозможности дальнейшего бытия», то есть таким состоянием, после которого невозможно уже никакое существование.

Философ рассматривает явление смерти как совершенно естественное состояние жизни, так, например, если жизнь есть «Dasein», то: «Смерть есть возможность, которая принадлежит исключительно Dasein. Она есть самая своя, непревосходимая возможность». И именно в принятии этой возможности Хайдеггер и видит путь подлинного существования (Eigentlichkeit) [1].

Исходя из этого, напрашивается вывод о том, что для Хайдеггера смерть является не концом, а пределом, через который раскрывается подлинный смысл жизни. Жить подлинно – значит жить, зная о смерти, но не в отчаянии, а с пониманием, что именно она делает возможным осмысленное, целостное существование. Жизнь в этом понимании – не набор случайных событий, а проект, направленный на

реализацию собственного бытия в условиях временности и конечности. Смерть придаёт каждому выбору вес, каждому дню – значимость, каждому действию – личную ответственность. В этом философском горизонте жизнь и смерть не противоположны, а глубоко связаны: смерть, как высшая возможность, раскрывает суть жизни.

В противовес идеям Хайдеггера далее будут рассмотрены философские воззрения на проблему жизни и смерти Мигеля де Унамуно.

Несмотря на то, что Мигеля де Унамуно нельзя однозначно отнести к экзистенциалистам, едва ли можно поспорить с тем, что некоторые его произведения имели иррационалистический подтекст. В книге «О трагическом чувстве жизни» философ затронул важные аспекты жизни и смерти, а также стремлений, которые неизменно преследуют человеческую сущность. Для Мигеля де Унамуно смерть, жизнь и бессмертие тесно переплетены в драматической картине человеческого существования.

В отличие от Хайдеггера, Унамуно все же сознает смерть частью вечной трагедии человеческого бытия, которую за счет внутренних стремлений хочет побороть, тем самым достигнув бессмертия.

Унамуно воспринимает смерть не как отвлечённую философскую категорию или биологический финал, а как глубоко личную трагедию, угрожающую самому существованию личности [3].

С точки зрения Мигеля де Унамуно, человек не боится смерти – он не может с ней смириться: «мы не хотим умирать. Мы хотим не только жить, но жить вечно» [3]. Также, как и Хайдеггер, он подчеркивает важность принятия смерти, как части жизненного пути человека: «Смерть – это не что-то, чего следует бояться; это часть нашего существования, которую мы должны принять» [3]. Однако важно заметить, что сам Унамуно, несмотря на осознание подобных идей, продолжает бороться с тем, что неизбежно. Для него небытие не только означает прекращения физического существования, но и абсолютное исчезновение личности. Такая позиция подчеркивает самоценность личности, ставит индивидуальное «я» в абсолют: «Мне всё равно, если солнце продолжит светить после моей смерти, – если меня уже не будет, всё остальное теряет значение» [3].

Бессмертие в «О трагическом чувстве жизни» представляется чуть ли не центральной темой осознания жизни, так как, в отличие от философов, которые видели некоторую вечность жизни в бесконечных возвращениях или цикличности человеческого бытия, Унамуно сознает бессмертие буквально. Рассуждая подобным образом, можно прийти к выводу, что для Мигеля де Унамуно бессмертие равносильно истинной жизни, а значит жизнь в его понимании – это непрекращающаяся борьба против небытия.

Жизнь в таком понимании не поддаётся логическому упорядочиванию. Она полна страха, противоречий, сомнений – но именно это делает её настоящей. Унамуно не верит в философские системы, которые обещают гармонию или рациональное примирение с судьбой. Жизнь ценна именно потому, что она конечна и осознанна: «Мы не можем не думать о смерти, потому что именно она заставляет нас ценить каждое мгновение жизни» [3].

Но даже несмотря на это, подобно Дон Кихоту, борющемуся с ветряными мельницами, Унамуно продолжается стремиться к бессмертию: «Жить – это бороться за бессмертие».

Иррационалистическое начало в философии Унамуно подчеркивает, что разум не способен дать утешения, он лишь напоминает о конечности: «Разум говорит нам: ты умрёшь, и всё закончится. Сердце отвечает: я не хочу, чтобы всё закончилось». [3].

Вопрос бессмертия для Унамуно – потребность души: «Я верю в бессмертие не потому, что могу доказать его, а потому что оно необходимо мне, чтобы жить» [3]. Именно в этой вере в достижение недостижимого Унамуно видит что-то настоящее, близкое к истине: «Мы не ищем истины, чтобы жить – мы живём, потому что ищем истину. И эта истина – в нашем желании не умирать».

Таким образом, в философии Унамуно смерть становится неотъемлемой частью жизни, постоянным вызовом, придающим ей напряжённость и глубину, а жизнь борьбой с внутренним страхом исчезновения, с трагическим знанием о конечности.

Проблема жизни и смерти в философии экзистенциализма приобретает подлинно человеческое измерение, раскрывая трагическую природу бытия через призму конечности, свободы и внутренней борьбы. Для Хайдеггера смерть становится предельной возможностью, в то время как для Унамуно – это экзистенциальная драма. Жизнь, по мнению обоих философов, невозможна без осознания её конечности, именно на этом и строятся их идеи, расходясь в вопросе о том, стоит ли с этой конечность бороться. Их размышления подчеркивают, что именно через страх, сомнение и стремление к смыслу человек приближается к пониманию самого себя и своего предназначения.

Список использованных источников:

1 Хайдеггер М. Бытие и время // М. Хайдеггер; пер. с нем. / В.В. Бибихина. – Харьков: «Фолио», 2003. – 503 с.

2 Малыхина, Г. И. Философия и методология науки : учеб. пособие / Г. И. Малыхина, В. И. Чуешов, В. И. Миськевич. - Минск : БГУИР, 2017.

3 de Unamuno M. Del sentimiento trágico de la vida en los hombres y en pueblos./ M. de Unamuno – Madrid, 1913.– 416 p/

ИБН СИНА И ЕВРОПЕЙСКОЕ ВОЗРОЖДЕНИЕ: МОСТ МЕЖДУ КЛАССИЧЕСКОЙ МЫСЛЬЮ И ПРОСВЕЩЕНИЕМ

Али Марван А.Ф.А., магистрант группы 476701

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Чуешов В.И – доктор философских наук, профессор

Аннотация. Статья исследует влияние Ибн Сины (Авиценны) на философию, медицину и логику, а также его роль в передаче знаний в Европу. Рассматриваются его метафизические идеи, Канон врачебной науки и вклад в схоластику. Особое внимание уделяется переводческому движению XII века, через которое его труды вошли в европейскую интеллектуальную традицию. Несмотря на последующую критику в эпоху Просвещения, его наследие стало важным мостом между античным знанием и наукой, объединив рационализм и эмпиризм и повлияв на развитие научной методологии.

Введение. Ибн Сина, широко известный как Авиценна, является выдающейся фигурой Золотого века ислама, чье влияние распространилось далеко за пределы его времени и региона. Его новаторские труды в области философии, медицины и логики не только сохранили и обогатили классическое греко-римское наследие, но и заложили прочную основу для интеллектуального возрождения в средневековой Европе. Ключевую роль в передаче его знаний сыграло переводческое движение XII века, в ходе которого были переведены на латынь его важнейшие труды — прежде всего его метафизические трактаты и всеобъемлющий "Канон врачебной науки". Эти переводы стали связующим звеном между исламской и европейской интеллектуальными традициями, способствуя формированию схоластической мысли и предвосхищая развитие ранней научной революции, что в конечном итоге повлияло на широкие течения европейского Ренессанса.

1. Основные достижения Ибн Сины.

Вклад в философию. Ибн Сина оказал значительное влияние на исламскую философию, систематически разграничив сущность (махия) и существование (вуджуд). В фундаментальном труде "Книга исцеления" (Kitab al-Shifa) он утверждал, что у контингентных (случайных) существ сущность и существование различны, при этом существование является "случайным" свойством сущности. Напротив, у Необходимого Существующего (Бога) сущность и существование идентичны, поскольку сущность Бога — это чистое существование. Этот онтологический подход оказал глубокое влияние на средневековых схоластов, включая Фому Аквинского, который активно использовал и критически переосмысливал авиценновскую метафизику в своих теологических рассуждениях [1, с 296].

Кроме того, Ибн Сина сформулировал "Доказательство истинного" (Бурхан ас-Сиддикин), рациональный аргумент в пользу существования Бога, основанный не на эмпирическом наблюдении, а на понятии необходимости существования. Он подчеркивал, что контингентные существа требуют существования необходимого бытия (Бога) как причины своего существования. Позднее этот концепт был интегрирован в латинскую философскую традицию такими учеными, как Альберт Великий и Дунс Скот [2].

Вклад в медицину. Наиболее известный медицинский труд Ибн Сины, "Канон врачебной науки" (Al-Qanun fi al-Tibb), более шести веков оставался основным учебником по медицине. Переведенный на латынь в XII веке Жераром Кремонским, "Канон" представлял собой систематизированное изложение медицинских знаний в пяти томах, охватывающих общие принципы, фармакологию, болезни и методы лечения [3]. Его акцент на систематическом экспериментировании и клиническом наблюдении усовершенствовал традиции Гиппократа и Галена, дополняясь элементами персидской и индийской медицины.

Новаторские идеи о заразных заболеваниях, карантине, а также исследования диабета и сердечно-сосудистых заболеваний заложили основу доказательной медицины. Однако в эпоху Ренессанса, с развитием анатомии и физиологии, особенно благодаря работам Везалия и Гарвея, приверженность Ибн Сины галеновским принципам подверглась критике. Несмотря на сохраняющееся влияние его диагностической методологии, некоторые методы лечения и физиологические теории были пересмотрены в свете новых открытий.

Вклад в логику и эпистемологию. Ибн Сина значительно развил аристотелевскую логику, включив в нее индуктивные рассуждения и гипотетические силлогизмы, особенно в трактате "Замечания и наставления" (Al-Isharat wa al-Tanbihat) [4, с 10]. Его логические нововведения повлияли на средневековых латинских философов, включая Уильяма Оккама, который стремился примирить веру с разумом [5].

В эпистемологии Ибн Сина ввел концепцию "интуиции" (хадс), посредством которой человеческий разум способен постигать универсальные истины через абстракцию, закладывая основы рационалистической мысли. Акцент на интуиции предвосхитил элементы современного рационализма, укрепляя идею о том, что интеллектуальное озарение может приводить к фундаментальному знанию.

Однако в эпоху Ренессанса его рационализм подвергся критике со стороны эмпириков, таких как Фрэнсис Бэкон, утверждавших приоритет наблюдения и опыта, что привело к переходу от авиценновского рационализма к эмпирической методологии [5].

2. Передача и влияние трудов Ибн Сины в Европе

Движение переводов и интеграция в европейскую мысль. XII век стал важнейшим этапом передачи знаний Ибн Сины (Авиценны) в европейские интеллектуальные круги. Перевод на латынь его главного медицинского труда *Канон врачебной науки* (Al-Qanun fi al-Tibb) Герардом Кремонским предоставил европейским учёным и врачам доступ к его обширным медицинским знаниям. Этот труд стал основополагающим текстом западной медицины и использовался в университетах Европы на протяжении нескольких столетий [3].

Михаил Скот перевёл части философской энциклопедии Ибн Сины *Книга исцеления* (al-Shifāʾ), особенно *О животных* (De animalibus), около 1230 года. Его перевод, часто называемый *Abbrevatio Avicennae*, содержал как незначительные, так и значительные упущения по сравнению с оригинальным арабским текстом [3]. Эти переводы способствовали включению авиценнианской мысли в учебные программы европейских университетов, оказывая влияние на таких учёных, как Роджер Бэкон, Фома Аквинский и Альберт Великий. Однако восприятие трудов Ибн Сины в Европе было неоднозначным: некоторые христианские учёные, обеспокоенные исламским происхождением его философии, стремились интерпретировать или опровергнуть её аспекты, чтобы они соответствовали христианскому богословию [6].

Ибн Сина и научная революция. Продолжая своё влияние на схоластическую традицию, методологии Ибн Сины заложили основы для раннего формирования современного научного подхода. Его интегрированный метод сочетал строгие эмпирические наблюдения с систематическими экспериментами и классификацией знаний — ключевые принципы будущей научной революции.

В *Каноне врачебной науки* Ибн Сина представил энциклопедический обзор медицинских знаний, придавая особое значение контролируемым наблюдениям и повторяемости экспериментов. Его детальные клинические наблюдения и систематическая классификация болезней предвосхитили практику доказательной медицины, которая впоследствии стала центральной в современной медицине [3].

Его философские труды демонстрируют его приверженность рациональному анализу. Синтезируя аристотелевские и неоплатонические идеи, он создал методологию, в которой универсальные принципы могут быть выявлены как посредством дедукции, так и через абстрактное познание. Этот двойной акцент на наблюдении и рациональности перекликается с идеями ранних новоевропейских мыслителей. Например, разработка метода научного познания Фрэнсисом Бэконом, подчеркивающего систематическое наблюдение и индуктивное умозаключение, во многом отражает эмпирическую ориентацию Ибн Сины [5]. Аналогично, рационализм Рене Декарта и его поиск фундаментальных истин отражают эпистемологические проблемы, затронутые Ибн Синой, в частности его различие между необходимыми и контингентными истинами [5].

Несмотря на значительные достижения, влияние Ибн Сины ослабевало в поздний Ренессанс и эпоху Просвещения, когда эмпирические методы вытесняли метафизические спекуляции. Развитие экспериментальной науки, особенно через исследования Галилея и Ньютона, привело к отходу от авиценнианского синтеза рационализма и эмпиризма. Тем не менее, его интеллектуальное наследие стало важным мостом между классическим знанием и современной научной мыслью.

Заключение. Интеллектуальное наследие Ибн Сины стало мостом между античной философией и европейским Возрождением, объединив философию, медицину и логику. Его труды, переданные Европе благодаря переводческому движению, повлияли на схоластику и заложили основы научной революции.

Однако в эпоху Ренессанса и Просвещения его идеи подверглись пересмотру: гуманисты обращались к греческим первоисточникам, а эмпирики оспаривали его рационализм. Тем не менее, его вклад в развитие знаний остается ключевым примером межкультурного обмена, сочетая сохранение классического наследия с импульсом для новых открытий.

Список использованных источников:

1. Gutas, D. Avicenna and the Aristotelian Tradition: Introduction to Reading Avicenna's Philosophical Works/ D. Gutas. – 2014. – 617 p.

2. Al-Allaf, M. The Essential Ideas of Islamic Philosophy: A Brief Survey/ M. Al-Allaf. – Lewiston, NY: Edwin Mellen Press, 2006. – URL: https://www.academia.edu/989065/Ibn_Sina_on_Essence_and_Existence (date of access: [30.03.2025]).

3. Janssens, J. Ibn Sīnā (Avicenna), Latin Translations of/ J. Janssens// Encyclopedia of Medieval Philosophy/ ed. by H. Lagerlund. – Springer, 2018. – p. 1–8.

4. Inati, Shams C. Ibn Sīnā and Mysticism: Remarks and Admonitions, Part Four/ Shams C. Inati. – London and New York: Kegan Paul International, 1996. – 248 p.

5. Momeni, M., Masoudi, J. Ibn Sina; Philosopher of Experience or Rationalism/ M. Momeni, J. Masoudi// Wisdom and Philosophy. – 2018. – Vol. 14, No. 4. – P. 97-114.

6. Goolam, N. M. I. The Influence of Al-Ghazali and Ibn Sina on Descartes/ N. M. I. Goolam// Codicillus. – 2003. – Vol. 44, No. 1. – P. 35–45.

ПОНЯТИЕ РИСКА В ФИЛОСОФИИ ЭКЗИСТЕНЦИАЛИЗМА НА ПРИМЕРЕ ТВОРЧЕСТВА ГРУППЫ «THE HATTERS»

Сытая Д.Д., Синило Д.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Амоненко С.А. – магистр философских наук, преподаватель кафедры философии

Аннотация. В современном мире риск становится важной характеристикой для всех сфер человеческой деятельности – от экономики и политики до этики и повседневного выбора. В работе рассматривается понятие риска в рамках ключевых понятий философии экзистенциализма: свободы, ответственности, морали, тревоги, смысла жизни, субъективизма и подлинности существования; анализируется отражение риска в творчестве современной группы «The Hatters».

Риск и неопределённость являются постоянными спутниками человеческой жизни – от рождения до смерти. Людям ежедневно приходится принимать решения в условиях недостатка информации и невозможности точно предсказать последствия, поскольку природные, социальные и индивидуальные процессы обладают стохастическим, вероятностным характером. С развитием технологий и глобализацией риск утрачивает локальный характер и становится системным – он проникает в повседневную жизнь и затрагивает каждого, вопрос лишь в том, как относиться к появлению неопределенности и реагировать при возникновении ситуации риска.

Экзистенциализм как течение философии возник в качестве одной из разновидностей иррационализма в девятнадцатом веке, но стал наиболее популярным в двадцатом веке. За время развития экзистенциализма выделилось два его направления: теистическое, или религиозное, представителями которого являются С. Кьеркегор, К. Ясперс, Г. Марсель и атеистическое во главе с Ж.-П. Сартром, М. Хайдеггером, А. Камю. Экзистенциализм акцентирующее своё внимание на уникальности бытия человека через основополагающее убеждение в том, что существование предшествует сущности, понятие субъективизма, свободы, ответственности и акцент на глубину эмоциональной природы. Экзистенциалисты считают, что у людей нет предопределенной цели или сущности, каждый сам волен решать, кем быть, обладая при этом одновременно свободой выбора и ответственностью за принятые в момент этого выбора решения.

Группа «The Hatters» («Шляпники») – российская рок-группа, образовавшаяся в две тысячи шестнадцатом году, которая еще с момента основания привлекает слушателей ярким и эклектичным звучанием через смешение музыкальных жанров, включающие элементы панка, альтернативного рока, фолк-музыки и поп-рока [1]. Стиль музыки наряду с вложенными в нее смыслами отличают Шляпников от других современных артистов и определяет их самобытность несмотря на постоянное расширение используемых жанров и музыкальных структур. В песнях группы неоднократно поднимается тема риска как единственного правильного стиля жизни. Героями песен предстают люди, рискующие для нахождения своего смысла, пробиваясь через стойкую решимость, уверенность в своих действиях, сохранение своей индивидуальности, несмотря на осуждения кого-либо из окружающих или же, наоборот, с их поддержкой. Смысл песен «Город поет» и «No rules» заключается в отсутствии пределов, сожаления о случившемся, необходимости следования правилам, говорит о необходимости наличия силы духа. Данная позиция находит отражение в экзистенциализме.

Одной из ключевых работ группы стала песня «Я делаю шаг», строчки которой выглядят так: «Вижу цель, вижу преграды – а как их не заметить // Я делаю шаг, делаю второй. // Дорога под ногами, небо над головой. // Двигаюсь уверенно, как стрелки на часах. // Откуда – не скажу, а куда не знаю сам». В произведении происходит противопоставление кратковременных достижимых целей и преград, связанных с их достижениями с неопределенностью глобальной цели; индивидуального пути с общим социальным. Одной из центральных идей экзистенциализма является различие между неподлинным, где человек проживает жизнь согласно чужим ожиданиям, нормам, ссылаясь на отсутствие свободы и тем самым избегания ответственности за свое существование, и подлинным через осознание своей свободы, повергнув себя риску изоляции, тревоги и вины, отчаяния, являющиеся преградами на пути. Риск отчаяния подразумевает принятие во внимание лишь того, что зависит от нашей воли, или ту сумму вероятностей, которые делают возможным наше действие. Решением для преодоления данного риска может быть как действие, так и бездействие. Экзистенциалисты утверждают, что, руководствуясь правилом: «Нет нужды надеяться, чтобы что-то предпринимать», – человек должен обрести себя и убедиться, что ничто не может его спасти от себя самого. В этом смысле экзистенциализм – это оптимизм, учение о действии [2]. Убеждения экзистенциалистов отражены авторами песни, которые заявляют, что в данном случае нужно прибегнуть к действию, шагая четко и уверенно можно преодолеть преграды, достичь своих маленьких целей и тем самым сделать свою жизнь лучше. Наряду с вопросом риска в тексте нашлось место вопросу ответственности человека, который действуя в ситуации риска, исходя из собственного выбора, создает человека, каким хочет быть и образ человека, каким он, по

нашим представлениям, должен быть: «Сумбурные толпы людей. // Столько пар ног, столько путей. // Бесцельно блуждающих в этой плоскости дней. // Я точно такой же, но немного живей». Экзистенциалисты охотно заявляют, что человек – это тревога, который на что-то решается и сознает, что выбирает не только свое собственное бытие, но и все человечество, не может избежать чувства ответственности.

Строки песни «Время пришло»: «Нет, нет у нас больше свободы. // Обилие выбора открыло тебе все дороги. // Мы захлебнулись в нами же добытой свободе. // Мы заперты в клетках, где прутья из страха и боли. // Время пришло расставить все по местам. // Выкинуть «Против», оставить только «За». // Пусть я не прав, но это лишь для тебя. // В этом мире все относительно», – раскрывают обратную сторону свободы в виде чувств страха и боли, которые открывают истину о положении человека в мире, как итог только риск способен пробудить чувство ответственности, убрав все предрассудки и вернуть состояние свободы. Экзистенциалисты подчёркивают, что аффективные состояния: тревога, вина, тоска, абсурд – так же являются реакцией на осознание риска, на то, что все опоры могут быть иллюзорны, и всё зависит от самого субъекта.

Более точно понятие риска раскрыто строкой песни «Друг»: «И что ни новый день, то шаг в бездну». По Сартру человек «обречён быть свободным». Эта свобода пугает: она оставляет человека один на один с миром и собственным выбором, без каких-либо универсальных гарантий правильности. Кьеркегор часто подчеркивал, что никакая теория не может обеспечить в качестве необходимого следствия определенное действие, тут существует зазор, который, независимо от того, мал он или велик (ибо речь идет о качестве) преодолевается только прыжком. Следовательно, любое решение – это акт «прыжка в пустоту», как говорил Кьеркегор [3]. В этом смысле само существование – риск, потому что каждый шаг в нём – это шаг без опоры на абсолютные истины. Выбор, решение, поступок – всегда прерывание причинно-следственной цепи и именно поэтому риск.

В песне «Shoot me» понятие риска трактуется как фактор, полностью определяющий жизнь: «Есть только миг, пока взводят курок, // Именно он должен был называться «жизнь»». Принять решение рисковать – значит осознать свою свободу и сделать шаг в неизвестность. Человек обычно чувствует, что живем хорошо, если делаем то, что «один» делает в знакомых социальных ситуациях, о которых говорил Хайдеггер [4]. Только взяв на себя ответственность за свое собственное существование, рискую, можно добиться подлинной жизни.

Человеческое решение рисковать не возникает внезапно или спонтанно. Экзистенциалисты описывают этот процесс как экзистенциальное пробуждение, которое часто происходит в результате тревоги, внутреннего конфликта между «я хочу» и «я должен», ощущения абсурда как переживание неисполненной возможности, осознание того, что «я мог бы, но не решился». Совокупность этих эмоций доводит человека до состояния, в котором оставаться на месте просто невыносимо, приходит осознание, что такая жизнь не имеет смысла и он принимает решение рисковать [5]. Однако принятие риска – это не слепая авантюра, а выстраданное решение, за которым стоит глубокое осознание собственной свободы и ответственности. Данная позиция просматривается в песне «Солнце»: «Но как бы много я не прошел, // Все так же далек горизонт. // Расшибусь, но сделаю и пусть будет нелегко – // Глаза боятся, руки делают // Не за горами счастье мое – // Рядом со мной, вот оно». – Каким бы тяжелым и опасным ни был путь, нельзя упустить возможность рискнуть.

Поиск смысла жизни в песнях «Шляпников» под призмой теории абсурда Камю подразумевает бунт против абсурда, иными словами, создание смысла жизни. В песнях «Мечта»: «Зачем идти, // Зачем вперед без цели? // Нужна мечта, // Вот только где-то затерялась она // И неспокойного сна, // Беспричинная тоска», – и «Все сразу»: «Мы можем пробовать себя во всем, // Но не пытайся двери все открыть одним ключом. // Ведь все, кто ходят по краю, // здесь за мечтой», – группа говорит, что для нахождения смысла жизни и его достижения необходимо рисковать на протяжении всей жизни. Однако главным остается то, человек, проживающий жизнь, должен прочувствовать время или сам процесс, не думая о конечном результате.

Таким образом, риск в экзистенциальной философии представлен как неотъемлемая часть человеческого существования, проявляющаяся в ежедневных выборах, действиях и стремлениях к жизненному смыслу. Через призму экзистенциализма риск перестает быть исключительно опасностью — он становится условием подлинного существования, способом проявления свободы и принятия ответственности. Экзистенциализм с его идеями свободы, тревоги, индивидуальности и ответственности находит живой отклик в творчестве группы «The Hatters», песни которой вдохновляют на движение вопреки страху, неопределенности и общественным ожиданиям. Вследствие сказанного творчество группы становится своеобразным художественным выражением экзистенциальных идей: человек, принимающий на себя ответственность за собственную жизнь, способный на решительный поступок, формируя смысл через риск и действие, достигает свободы.

Список использованных источников:

1. The Hatters [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://thehatters.band/about. – Дата доступа: – 10.04.2025

2. Sartre, J.-P. Existentialisme est un humanisme / J.-P. Sartre. – Paris : Éditions Gallimard, 1996. – 63 с.

3. Кузьмина, Т. А. Мораль как страсть существования (Серен Кьеркегор) / Т. А. Кузьмина // Этическая мысль – 2010. – № 10. – С. 131–155.

4. Heidegger, M. Sein und Zeit / M. Heidegger. – Tübingen : Neomarius Verlag, 1927. – 602 с.

5. Диев, В. С. Риск и неопределенность в философии, науке, управлении / В. С. Диев // Философия. Социология. Политология – 2011. – Т.2, № 14. – С. 79–89.

УДК 316.42.

КОЭВОЛЮЦИЯ ЧЕЛОВЕКА И ТЕХНОЛОГИИ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Марковский И.М., Убоженко М.А., студенты гр.251004

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Мозалевская Д.А. – магистр философских наук,

Преподаватель кафедры философии БГУИР

Аннотация. В работе исследована связь человека и технологий, а также отображена история их взаимоотношений. Приведены примеры негативных тенденций развития технологий в современных реалиях. Отмечено, какое воздействие оказывают современные технологии на человека и к чему это может привести.

Ключевые слова. Технологии, прогресс, гиперобъекты, перманентные инновации, отчуждение человека.

Согласно древнегреческому мифу о создании человека, Эпиметей, брат Прометея, занимался распределением способностей между живыми существами, однако ничем не наделил человека, оставив его беззащитным. Прометей был вынужден украсть искусство Афины вместе с огнём Гефеста, чтобы божественный дар не только обеспечил выживание человека, но и позволил ему занять доминирующее положение среди всех живых существ. Если в причастности двух титанов к появлению человека можно усомниться, то в том, что сегодня доступ к технологиям, как к тому самому мифическому огню позволил человечеству не только выжить, адаптироваться к внешним условиям, но и в определенном смысле овладеть окружающим миром, звучит крайне убедительно.

Всю свою историю человек развивался совместно с технологиями: от огня и заточенного камня до компьютера и полетов в космос. Технологии подарили людям новый вид памяти. Всё, что знал человек о мире, основывалось лишь на его генетической памяти и личном опыте. С появлением письменности, изображений и материальных артефактов возникла своего рода «внешняя память», благодаря которой обеспечиваются накопление и передача знаний от поколения к поколению, возможность изучения исторических фактов, динамики культур, что углубляет и расширяет наше познание мира. Каждый скачок в развитии технологий был связан с новым этапом прогресса человечества. Если раньше промежутки между технологическими рывками составляли тысячи, сотни лет, то сейчас эти прорывы происходят каждые пару лет, меняя образ жизни и мышление человека.

В конце XVIII века капитализм становится глобальной экономической системой. Внедрение машинного производства, паровых двигателей, конвейерных линий и механизированного труда не только ускорило темпы индустриализации, но и радикально изменило характер взаимодействия человека с технологиями. В условиях рыночной конкуренции технологическое развитие стало одним из ключевых факторов прибыли и эффективности – этот процесс породил феномен «перманентных инноваций»: постоянное ускорение технологических изменений, к которым человек не всегда успевает адаптироваться.

В XXI веке мы находимся в том состоянии, когда технологический прогресс часто является неконтролируемым. Уровень наших знаний и скорости адаптации существенно отстают от темпов технического прогресса, поэтому мы не всегда способны объективно оценить не только природу каждой новой инновации, но и её реальную необходимость. Этот разрыв между созданием технологий и пониманием их последствий приводит к тому, что многие из них внедряются по логике рынка, а не исходя из осознанной потребности общества. Например, развитие рекомендательных алгоритмов в социальных сетях изначально позиционировалось как способ персонализации контента, но на практике они стали инструментом для удержания внимания пользователей и увеличения доходов от рекламы, что привело к росту информационных пузырей и поляризации общества.

Другой яркий пример – массовая автоматизация рабочих процессов. Внедрение искусственного интеллекта и машинного обучения в сферу найма, как показал случай с системой рекрутинга Amazon, привело к дискриминации кандидатов по гендерному признаку: алгоритм, обученный на исторических данных, начал автоматически занижать рейтинг женщин-кандидатов в сфере IT. Это не было целью разработки, но коммерческая логика ускоренного внедрения технологий привела к игнорированию этических последствий.

Аналогичная ситуация наблюдается в развитии систем глубокого обучения, используемых в финансовой сфере. Алгоритмические трейдинговые платформы способны за миллисекунды совершать сделки, оперируя огромными объёмами данных, однако их деятельность часто остаётся непрозрачной

даже для самих разработчиков. Это создаёт риск внезапных рыночных обвалов, когда автоматизированные процессы выходят из-под контроля, как это произошло во время так называемого «Флэш-крэша» 2010 года, когда за 36 минут индекс Dow Jones упал на 9%, а затем резко восстановился, причём точные причины этого сбоя так и не были до конца выяснены.

Порой технологии становятся полноценными «гиперобъектами» – термин, введённый философом Тимоти Мортоном [1]. Гиперобъекты – это объекты и события крайне обширных временных и пространственных измерений, в связи с чем фактически невозможно постичь их во всей совокупности. Они существуют повсюду и влияют на мир в глобальном масштабе, но остаются трудноуловимыми и непрозрачными для нашего понимания. Таким гиперобъектом можно считать, например, сеть Интернет: её компоненты и механизмы функционирования настолько сложны, что ни один человек не может охватить их целиком.

Схожая ситуация с непониманием технологий, которые мы сами создали, прослеживается с большими языковыми моделями. На данный момент человек умеет обучать нейросети на огромных данных, но понять то, чему она обучилась, а также поставить ей конкретную цель далеко не так просто. Возникают ситуации, когда нейросеть обучается действиям, которые даже не были задуманы авторами. Так в одном из экспериментов OpenAI модель обманывала пользователя сайта TaskRabbit, выдавая себя за человека с целью достижения своей задачи [2].

Технологии уже значительно вытеснили человека из процесса производства и в дальнейшем могут полностью автоматизировать процесс создания нового. Однако, действительно пугающей тенденцией является то, что технологии начинают заменять человека не только в производстве, но и в социальной жизни. В этом плане показательна философская позиция И. Канта, который подчёркивал важность рационального выбора и моральной ответственности человека. Автономия воли – это способность принимать решения, основываясь на разуме и моральных принципах, а не на внешних обстоятельствах или желаниях [3]. Культурная индустрия часто подрывает автономию воли человека, подменяя желания людей искусственно созданными потребностями. Индивидуальное замещается искусственным, однообразным. Современные технологии ещё больше усугубили данную ситуацию. Алгоритмы маркетинга и социальных сетей не столько удовлетворяют потребностям, сколько уничтожают их, подменяя их теми, которые выгодны рынку. Платформы, такие как Instagram и TikTok, создают давление на пользователей, заставляя их стремиться к лайкам и подписчикам. Это приводит к тому, что люди начинают формировать свои желания и интересы в соответствии с тем, что популярно в сети, а не исходя из своих истинных предпочтений. Таким образом, индивидуальность замещается стремлением соответствовать стандартам, установленным культурной индустрией.

Социальное взаимодействие является неотъемлемым элементом существования человека. Но современные технологии преобразуют эту систему: они заменяют другого человека в цикле обмена знаниями, сокращая взаимодействие людей. Кто больше занимается развитием и воспитанием ребёнка: родители или телефон через маркетинг, видеоигры, социальные сети и т.д.?

Зачем запоминать информацию, если в любом момент можно обратиться к интернету или воспользоваться искусственным интеллектом, который может предоставить нужные данные за доли секунды? Постепенно навыки, которые раньше требовали значительных усилий, становятся ненужными, поскольку технологии берут на себя эти функции. Это ведет к тому, что многие люди начинают забывать, как решать задачи без помощи технологий, становясь всё более зависимыми от них в повседневной жизни.

В понимании К. Маркса рабочий отчуждается от результатов своего труда, так сегодня человек отчуждается от своих базовых умений. Навыки запоминания, ранее развивавшиеся через чтение, конспектирование и устное пересказывание, постепенно ослабевают, так как информация стала доступной в любой момент. Распространение сервисов автоматического планирования задач и напоминаний приводит к снижению способности человека к организации времени и самостоятельному управлению своими делами. Автоматические системы проверки правописания в текстовых редакторах ведут к постепенному снижению грамотности, так как пользователь уделяет меньше внимания запоминанию правил языка. Постоянное использование современных технологий может ослаблять критическое мышление человека и вызывать трудности в самостоятельном решении сложных задач. Наглядным примером снижения критического мышления является взаимодействие с современными языковыми моделями. Исследования подчеркивают [4] явление «механизированной конвергенции», когда различные процессы и результаты сходятся к одному шаблонному решению, теряя разнообразие и уникальность. Пользователи, имеющие доступ к инструментам генеративного ИИ, создают менее творческие и разнообразные результаты, поскольку взаимодействие с ИИ снижает необходимость подвергать информацию глубокому рефлексивному и критическому анализу, что ухудшает способность к самостоятельному мышлению.

Адвэйт Саркар – исследователь в области человеко-компьютерного взаимодействия (от англ. human-computer interaction, HCI) и искусственного интеллекта, сотрудник Microsoft Research, отмечает, что интеграция ИИ в рабочие процессы повышает эффективность, но также создаёт риск утраты оригинальности и уникальности, поскольку творческое мышление подменяется машинной обработкой.

Кроме того, исследователи из Кембриджского и Оксфордского университетов обнаружили, что модели искусственного интеллекта, обучающиеся на данных, сгенерированных другими моделями ИИ, со временем теряют свою точность и надёжность [5]. В ходе экспериментов было установлено, что при многократном обучении моделей на таких данных они начинают генерировать искажённые и нелепые результаты, что ещё больше усиливает эффект «механизированной конвергенции», когда и машины, и пользователи становятся заложниками шаблонных решений.

Джон Дьюи неоднократно подчеркивал, что без постоянного критического осмысления и сомнения человеческий разум рискует утратить свою творческую силу и способность к преобразованию. В этом же ключе он говорил: «Образование – это не подготовка к жизни; образование есть сама жизнь» [6], что еще раз подчеркивает важность постоянного саморазвития, активного мышления и сомнения как основы для творческого роста и адаптации в постоянно меняющемся мире.

Современные технологии всё чаще выполняют не только физический, но и умственный труд, формируя реальность, в которой человеку приходится всё меньше полагаться на собственные навыки. Как когда-то автомобили и навигационные системы снизили нашу подвижность и умение ориентироваться на местности, так и искусственный интеллект, выполняя за нас сложные когнитивные задачи, ослабляет критическую рефлексию. В результате наш умственный «мышечный тонус» ослабевает так же, как физическое тело теряет форму без регулярных нагрузок. Если мы полностью доверим анализ и принятие решений технологиям, то рискуем утратить нашу главную эволюционную способность – критическое мышление, превращаясь в зависимый придаток цифровых систем.

Чем будет заниматься человечество, когда лишит себя всех трудностей и задач? Идеи достижения биокосмизма и других утопий, где человек оставив свои заботы на машины будет созидать и заниматься творчеством, в наше время выглядят очень нереалистичными.

Гегелевская диалектика, со своей последовательностью «тезис – антитезис – синтез», наглядно демонстрирует эволюцию отношений между человеком и технологиями. Первоначально технологии были созданы как инструменты для облегчения труда – тезис, с которым человечество стремилось упростить свою жизнь и повысить эффективность. Однако с течением времени они начали развиваться автономно, оказывая всё большее влияние на общество и даже формируя наше мышление – антитезис. Сегодня перед нами стоит задача найти синтез: создать такой режим взаимодействия, при котором технологии служат целям человеческого развития, а не становятся угрозой или помехой.

Для достижения этого синтеза необходимо не только развивать технологии, но и активно контролировать их вектор развития и фильтровать контент, с которым они работают. Человеку следует тщательно отслеживать и регулировать информационные потоки, чтобы ИИ и цифровые системы отражали ценности, направленные на развитие общества, а не на самоуспокоение или манипулирование массовым сознанием. Такой подход позволит нам сохранить контроль над технологическим прогрессом и использовать его для обогащения человеческого опыта, а не для его стандартизации или деградации.

Только осознанное использование достижений прогресса позволяет раскрыть человеческий потенциал, не теряя своей автономии и критического мышления. В век всеохватной машинизации важно помнить о том, что технологии – это инструмент, а не цель существования. Вопросы “Зачем эта технология существует?”, “Что она даёт человеку и какие последствия несёт за собой?” должны звучать намного чаще, помогая согласовать наши человеческие цели с направлением технологического развития. Аналогично мифическому огню, дарованному людям небожителем, технологии способны принести пользу и стать источником прогресса, если они используются осознанно и во благо. Однако, если пренебречь ответственным отношением и позволить «пламени» технологий выйти из-под контроля, оно может охватить всё вокруг, уничтожая созданные человеком ценности, институты и саму возможность осмысленного существования в технологическом мире.

Список использованных источников:

1. Мортон, Т. Гиперобъекты: Философия и экология после конца мира. / Т. Мортон. – Миннеаполис: Университет Миннесоты, 2013. – 240 с.

2. The TaskRabbit example, 2023 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://evals.alignment.org/taskrabbit.pdf. – Дата доступа: 09.03.2025

3. Кант, И. Критика практического разума / И. Кант. – АСТ, 2024. – 256 с.

4. Саркар, А. Exploring Perspectives on the Impact of Artificial Intelligence on the Creativity of Knowledge Work: Beyond Mechanised Plagiarism and Stochastic Parrots, 2023. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://arxiv.org/abs/2307.10751 – Дата доступа: 17.03.2025

5. Саркар, А. The Impact of Generative AI on Critical Thinking: Self-Reported Reductions in Cognitive Effort and Confidence Effects From a Survey of Knowledge Workers, 2025 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.microsoft.com/en-us/research/wp-content/uploads/2025/01/lee_2025_ai_critical_thinking_survey.pdf. – Дата доступа: 17.03.2025

6. Норман, Д. A comparison of tendencies in secondary education in England and the United States / Д.Норман, – Teachers College, Columbia Wnibttiity, 1922. – 212 с.

UDC 316.42.

COEVOLUTION OF HUMANS AND TECHNOLOGY: PROBLEMS AND PROSPECTS

Markouski I.M.

Ubozhenko M.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics,
Minsk, Republic of Belarus

Mozalevskaya D.A. – Master of Philos. Sciences,

lecturer

Annotation. The paper explores the relationship between human beings and technology. The history of the development of the relationship between man and technology is shown. Examples of negative trends of technology development in modern realities are given. It is noted, what influence modern technologies have on humans and what it can lead to.

Keywords. Technologies, progress, hyperobjects, permanent innovations, human alienation.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ И УРОВНЯ ГАРМОНИИ ЛИЧНОСТИ

Бетеня К.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Мозалевская Д.А. – магистр философских наук

Аннотация. В условиях глобальной цифровизации и трансформации социальных коммуникаций возникает ситуация, когда технологический прогресс, призванный упростить человеческое взаимодействие, одновременно усложняет его эмоциональную составляющую. Статья исследует философские основания метода Ануашвили в контексте разработки стартапа EmotionIQ – AI-агента для анализа психоэмоционального состояния по мимике.

Мировоззрение – это культурно обусловленная система взглядов, которая влияет на индивидуальное и коллективное поведение человека, его ценности и представления о реальности. Изучение психических функций не является исключением из этого влияния, что отражено в научных теориях, методологических подходах и эмпирических исследованиях [1]. В условиях гибридизации реальности возрастает популярность проведения встреч с использованием информационных технологий и средств связи, которые открывают новые возможности для автоматизации процессов оценки эмоционального состояния человека и определения его психотипа.

Использование современных технологий порождает проблемы в работе с психологической практикой. Традиционные методы психологической диагностики, основанные на непосредственном контакте, теряют эффективность в условиях дистанционного взаимодействия. Мимика в цифровой среде часто подвергается искусственной коррекции, что может значительно модифицировать эмоциональные сигналы. Наиболее важный вопрос, сможет ли алгоритм, основанный на параметрических данных, заменить интуицию специалиста. Стартап EmotionIQ — видеоассистент, предлагающий работодателям и специалистам в области психологии инновационное решение для оценки психоэмоционального состояния человека. Мы объединяем метод Ануашвили и технологии искусственного интеллекта (ИИ) для анализа мимики лица, что позволяет более точно понимать эмоциональное состояние сотрудников и клиентов.

Метод Ануашвили – является одним из наиболее известных методов коррекции психофизического состояния и анализа психотипа личности, который был разработан исследователем в области цифровой психологии А. Н. Ануашвили. Данный метод основан на работе с функциональной асимметрией полушарий головного мозга: в процессе диагностики определяется доминирующее полушарие в текущий период, после чего предлагаются рекомендации для коррекции выявленных дисбалансов и улучшения психоэмоционального состояния человека.

Метод предусматривает построение двух образов лицевых моделей на основании одной исходной фотографии лица человека [3]: симметричного образа левой половины лица и симметричного образа правой половины лица. Образ левой половины интерпретируется как генетическая модель, отражающая внутреннюю сущность человека «бытие в себе», его врожденные черты и индивидуальные особенности. Образ правой половины лица рассматривается как социальный портрет, который демонстрирует то, как человека воспринимают окружающие «бытие для другого». В данном контексте стартап EmotionIQ помогает выявлять реальные эмоции человека, для понимания внутреннего состояния и социального восприятия.

Пример построения лицевых моделей представлен на рисунке 1.



Рисунок 1. Пример построения лицевых моделей человека (слева – исходная фотография; в центре – модель, соответствующая левому полушарию, справа – модель, соответствующая правому полушарию)

Отметим, что в условиях социально-экономических изменений, переориентации социальных норм и ценностей неизбежно обостряются философско-психологические аспекты жизни человека, что приводит к необходимости поддержания баланса и гармонии внешнего и внутреннего пространства личности [4]. Психологическая гармония включает в себя четыре подсистемы: внутреннюю психическую гармонию, психическую гармонию между людьми и делами, межличностную психическую гармонию и гармонию тела и разума.

И. А. Сикорский, исследователь в сфере влияния современных технологий на людей, предложил классификацию лицевой мимики, разделив её на три группы в соответствии с психическими функциями. Он считает, что за ум отвечают мышцы, расположенные вокруг глаз. Мышцы, окружающие область рта, отвечают за волю человека. И, наконец, за чувства отвечают все мышцы лица, способные выражать эти чувства. Это подчёркивает телесность сознания, где лицо становится текстом, а искусственный интеллект – его интерпретатором.

Специалисты в области межличностного общения П. Экман и У. Фризен в 1978 году разработали систему кодирования лицевых движений FACS (Facial Action Coding System) [5]. Эта система позволяет классифицировать выражения лица на основе анализа мимических движений. Каждое движение кодируется с помощью Action Units (AU) – двигательных единиц, которые описывают работу отдельных групп лицевых мышц.

В соответствии с методом FACS, А. Н. Ануашвили разработал алгоритм видеокомпьютерной диагностики [6]. В рамках этого подхода была создана таблица типологии, которая позволяет сопоставлять полученные параметры лицевых моделей с определёнными психоэмоциональными состояниями. Это даёт возможность анализировать текущее состояние человека, выявлять его психотип и определять степень гармонии между генетической и социальной составляющими личности.

Таблица типологии представлена на рисунке 2.

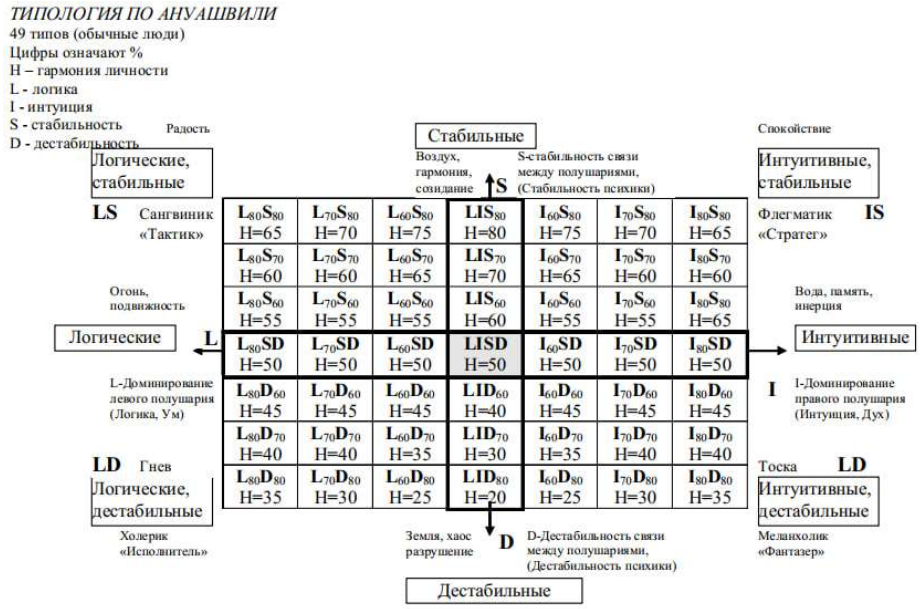


Рисунок 2. Типология по Ануашвили

Таким образом, метод Ануашвили предоставляет инструмент для комплексного анализа психотипа человека и уровня гармонии личности, позволяя определить соотношение логики и интуиции, а также выявить степень зависимости от мнения окружающих. Это подтверждает эвристический потенциал данного подхода в изучении философско-психологических аспектов жизни человека в условиях цифровизации. Стартап EmotionIQ, опираясь на возможности ИИ, создает исследовательско-коммуникационную платформу, которая не только расширяет границы самопознания и оценивает психоэмоциональное состояние человека, но и значительно ускоряет процесс оценки кандидатов при приеме на работу, существенно помогает специалистам в сфере психологии в работе с клиентами, а также создаёт обстановку объективной оценки состояния человека.

Список использованных источников:

1. Буртовая Н. Б. Коммуникативная компетентность личности и социально-психологические факторы ее развития : дис. – Красноярск : [Сиб. гос. техн. ун-т], 2004.

2. Ануашвили А. Н. Экспериментальное исследование метода видеокомпьютерной коррекции психофизического состояния человека с применением медицинских приборов //Инновации и инвестиции. – 2015. – №. 8. – С. 126-128.

3. Лемешевская З. П., Михальчик С. В., Водоевич В. П. Диагностика психического состояния человека по мимике лица //Журнал Гродненского государственного медицинского университета. – 2010. – №. 1 (29). – С. 62-67.

4. Лукманова Р. Х. Гармония как философская категория //Вестник Башкирского университета. – 2012. – Т. 17. – №. 1 (I). – С. 645-649.

5. Богданова Д. Р. Инструменты эмоционального искусственного интеллекта в системах поддержки принятия решений для дистанционного образования //Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2021. – Т. 25. – №. 2 (92). – С. 71-80.

6. Ануашвили А. Н., Кукина И. М. Возможности применения видео-компьютерной психодиагностики для управления персоналом экстремальных профессий //Транспортное дело России. – 2014. – №. 4. – С. 136-138.

УДК 130.2

РЕНЕ ДЕКАРТ КАК ФИЛОСОФ И МАТЕМАТИК

Бычек Е.Н., студентка гр. 310101

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Миськевич В.И. – канд. фил. наук, доцент

Аннотация. Рене Декарт – французский философ, математик и естествоиспытатель; один из основоположников философии Нового времени, создатель аналитической геометрии, одна из ключевых фигур научной революции. В статье рассмотрены основные идеи философии Декарта, его вклад в математику.

Ключевые слова. Декарт, философия Нового времени, математика, рационализм, дуализм.

Рене Декарт (1596 – 1649) – один из величайших мыслителей Нового времени. В его деятельности органически соединились интерес к философским размышлениям, проблемам математики и изучению природы. В философии и каждой науке, которой занимался Декарт, он стал «открывателем новых земель». Картезианское наследие оказало во многом определяющее влияние на последующее развитие европейской философской и научной мысли [1].

Среди философских произведений Декарта можно выделить «Правила для руководства ума», «Рассуждение о методе», «Размышления о первой философии», «Первоначала философии», «Метафизические размышления». Декарт вошел в мир европейской культуры четыре столетия назад, однако и сегодня его деятельность остается примером активного, творческого подхода к решению сложнейших проблем бытия и мышления. В известном смысле мы все – картезианцы, которым присущи и скептицизм, и рационализм.

В своей работе «Рассуждение о методе» Декарт утверждал, что хотя философия и разрабатывалась в течение длительного времени «превосходнейшими умами», в ней нет ни одного положения, которое бы не было предметом споров [2, с. 254]. Его устремление заключалось в создании философии нового типа, в основе которой должен лежать логически стройный и твердый научный фундамент. Он исходил из того, что нужно следовать только тем положениям, которые абсолютно очевидны и ясны. Рассмотрим алгоритм рассуждений Рене Декарта, с помощью которого он находит опору для своего нового метода.

Логика его рассуждения сводится к следующим умозаключениям: предположим, что все, что нас окружает – это сон или мираж, в том числе, наше собственное тело. Таким образом, мы ставим под сомнение существование абсолютно всего. При этом следует задаться вопросом, а есть ли что-то, что невозможно поставить под сомнение? Да, есть. Декарт считал, что нельзя сомневаться в одном: в самом факте сомнения. Это состояние сомнения является несомненным фактом. По его мнению, сомнение есть мышление. Следовательно, невозможно сомневаться в одном: в том, что я мыслю. В частности, мы мыслим свои мысли, мы знаем, что они есть, таким образом, если моя мысль есть, значит, и я есть. Именно мышление есть то, что делает человека человеком, поскольку именно мышление убеждает нас в нашем существовании. Тем самым Декарт приходит к своему знаменитому выводу: «Я мыслю, следовательно, я существую» («*Cogito ergo sum*» – лат.). Именно это положение становится единственно верной аксиомой, от которой следует отталкиваться в различных исследованиях [2, с. 268].

Декарт стремился к построению системы знания, которая опиралась бы исключительно на разум. Он полагал, что мир можно познавать через четкие и ясные идеи, которые могут быть выведены из аксиом и теорем. Именно разум для него был источником истинного знания, в отличие от чувственного опыта, который может быть обманчив. Метод, направленный на достижение абсолютно достоверного знания, по мнению Декарта, это точные и простые правила, строгое соблюдение которых препятствует принятию ложного за истинное и, без излишней траты умственных сил, способствует тому, что ум достигает истинного познания всего, что ему доступно [3, с. 86]. Содержание метода составляют интуиция и дедукция.

Под интуицией Декарт подразумевал понимание ясного и внимательного ума, настолько легкое и отчетливое, что не остается совершенно никакого сомнения относительно того, что мы понимаем. Речь идет об анализе какого-либо явления вне связи с чувствами. Опираясь исключительно на разум, исследователь способен вынести такое умозаключение, в истинности которого невозможно усомниться. Дедукция – это рассуждение, исходным моментом которого является некоторое общее утверждение, а заключительным – частный вывод. Правильно построенное дедуктивное умозаключение всегда будет истинным. Компоненты метода Декарта разновекторны: интуиция ориентирована на установление исходных принципов рассуждения, а дедукция обеспечивает достоверные выводы.

Декарт разработал несколько важных принципов для применения метода на практике [2, с. 260]. Так, он требовал: считать истинным только самоочевидное, т.е. то, что ясно и отчетливо воспринимается человеческим разумом; делить вызывающую трудность теоретическую проблему на столько частей, сколько необходимо для ее решения; придерживаться строгого порядка исследования, двигаясь от простых предметов к познанию сложных; составлять общие обзоры и полные перечни – для исключения пропусков в ходе исследования того или иного вопроса. Таким образом, истинный метод объясняет, как правильно пользоваться интуицией ума и выстраивать дедуктивные выводы.

Одной из ключевых идей философии Рене Декарта является его теория дуализма, которая основывается на разделении бытия на две независимые субстанции: материальную (тело) и духовную (разум). Это радикальное разделение положило начало многим философским, психологическим и научным дискуссиям и продолжает оказывать влияние на исследователей и в наши дни. Декарт считал, что материя и дух принципиально различны, и принадлежат к разным сферам бытия, каждая из которых обладает собственными свойствами и законами.

Декарт утверждал, что мир состоит из двух сотворенных субстанций: протяженной и мыслящей. Эти две субстанции представляют собой разные аспекты реальности, и их нельзя свести одна к другой. Соответственно в человеке они проявляют себя как тело и ум.

Протяженная субстанция – это физический мир, включающий в себя все протяженные объекты, которые можно измерить, изучить и описать на языке математики. Все, что относится к физическому миру, подчиняется законам причинности и может быть объективно познано посредством науки. Материя, по Декарту, характеризуется протяженностью в пространстве, делимостью и подчиненностью механическим законам.

Мыслящая субстанция включает в себя сознание, разум, восприятие и волю. Эта субстанция, по мнению Декарта, принципиально отлична от материи, поскольку она нематериальна, неделима и не подчиняется механическим законам. Мыслящая субстанция не может быть объяснена в терминах физики, так как она связана с самосознанием, мышлением и духовной сферой.

В связи с декартовским дуализмом возникает один из главных вопросов – вопрос взаимодействия между душой и телом. Говоря о том, что в мире существуют две субстанции (протяженность и мышление), которые не имеют ничего общего, кроме того, что являются сотворенными, Декарт рассматривает с этой точки зрения и человеческую природу. Тело человека и мышление, т.е. его душа, оказываются совершенно различной природы и поэтому не взаимодействуют. Декарт говорил, что телесная и мыслящая субстанции могут соединиться лишь в Боге как в несотворенной единой субстанции [4, с. 33].

Для Рене Декарта философия не противоречит науке, но, наоборот, тесно связана с ней. «...Вся философия подобна дереву, корни которого – метафизика, ствол – физика, а ветви, исходящие от этого ствола, – все прочие науки, сводящиеся к трем главным: медицине, механике и этике. Последнюю я считаю высочайшей и совершеннейшей наукой, которая предполагает полное знание других наук и является последней ступенью к высшей мудрости» [5, с. 309], – пишет Декарт в «Первоначалах философии». «Подобно тому как плоды собирают не с корней и не со ствола дерева, а только с концов его ветвей, так и особая полезность философии зависит от тех ее частей, которые могут быть изучены только под конец» [5, с. 309]. Признавая положения, введенные Галилеем (математичность языка природы, изоморфность пространства, экспериментальный характер науки), Декарт подходит к ним более основательно, философски. Так, он обосновывает необходимость эксперимента тем, что «наши умственные способности весьма посредственны, и что нам не следует чересчур полагаться на себя»; поэтому попытка постичь все только разумом, методом чистой дедукции не может увенчаться успехом. Необходима проверка правильности наших рассуждений, для чего ученый должен обращаться к наблюдению за миром, стремясь увидеть в нем подтверждение (или опровержение) нашим рассуждениям и гипотезам. Кроме этого, Декарт ввел очень важное положение – закон природы. «Законы мира постоянны и неизменны» [5, с. 368]. В силу же того, что материя везде одинакова, то и законы действуют во всем мире также одинаково.

Идеалом научного знания является для Декарта математика, которая является одним из способов познания природы, поэтому методы анализа математических объектов он распространяет на все научное познание. Сочинение Декарта «Рассуждение о методе, чтобы хорошо направлять свой разум и отыскивать истину в науках» содержит правила, позволяющие познавать мир, а приложенные к нему трактаты «Диоптрика», «Метеоры» и «Геометрия» показывали применение этих правил к конкретным наукам. В приложении «Геометрия» он изложил многочисленные результаты в алгебре и геометрии, что сделало его признанным авторитетом в математике и оптике.

Декарт совершил революцию в математике, создав систему координат и переведя математику на привычный нам язык. Особо следует отметить переработанную им математическую символику, близкую к современной. Коэффициенты он обозначал *a*, *b*, *c*…, а неизвестные – *x*, *y*, *z*. Натуральный показатель степени принял современный вид, степень обозначил при помощи надстрочного знака. Появилась черта над подкоренным выражением. Уравнения приводятся к канонической форме (в правой части – ноль) [6, с. 19].

Создание аналитической геометрии позволило перевести исследование геометрических свойств кривых и тел на алгебраический язык, то есть анализировать уравнение кривой в некоторой системе координат. В «Геометрии» были даны методы решения алгебраических уравнений (в том числе геометрические и механические), классификация алгебраических кривых. Новый способ задания кривой – с помощью уравнения – был решающим шагом к понятию функции. Он ввел понятие переменной, функции, обозначив ее буквой f.

В каждой науке, которой занимался Рене Декарт, он стал создателем новых направлений. Декартовская философия явилась революционным переворотом в прежней философской традиции. После Декарта уже был невозможен возврат к средневековому или античному способу мышления. Он заложил основы новой философии, дав метод, указав предмет и задав цели философии. Поэтому не будет преувеличением сказать, что вплоть до XIX века западноевропейская философия развивалась в русле идей, принципов и интуиций Декарта.

Идеи Декарта помогли сформировать основы для научного метода, который использует логику и математическое моделирование для объяснения природных явлений. Принципы, разработанные Рене Декартом, также не утратили свою актуальность. В них отражены простые, но наиболее важные в исследовательской деятельности правила, отступление от которых ведет к негативным последствиям. Например, решение игнорировать принцип порядка в проведении исследования не только значительно усложняет путь поиска ответа на поставленный вопрос, но и повышает возможность совершения ошибок.

Рационализм Декарта, предполагающий использование разума в качестве основного инструмента постижения истины, открыл путь для превращения естествознания и математики в главную познавательную силу человеческого мышления. Дуализм Декарта, основанный на разделении всего на материальное и духовное, стал основой для развития многих философских направлений, например, психологии как науки. Кроме того, современные исследования в области нейронаук, такие как изучение сознания и функций мозга, по-прежнему исследуют природу взаимодействия разума и тела.

В чем главный урок великого француза для нас? Ответ может быть таким: Декарт твердо и решительно заявлял, что главная привилегия и обязанность человека – мышление. Думать и мыслить самому, ни на кого не перекладывать ответственность, и на основе этих самостоятельных размышлений выстраивать уже парадигму собственного действия, жизненной стратегии. Этот призыв, прозвучавший почти четыре столетия тому назад, актуален и современен и в наше время. Только мысль и разум могут быть центром, основой нашего Я, суверенной и полноценной личности, только в актах мышления она полностью проявляет и раскрывает себя как таковая.

Список использованных источников:

1. К 425-летнему юбилею Рене Декарта / В. Пырков [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://pyrkov-professor.ru/Portals/0/Nauka/Publikacii/%D0%94%D0%B5%D0%BA%D0%B0%D1%80%D1%82_2021.pdf?ysclid=m8lxl4dzps137719804. – Дата доступа: 20.03.2025.

2. Декарт, Р. Рассуждение о методе, чтобы верно направлять свой разум и отыскивать истину в науках (пер. с франц. Г.Г. Слюсарева) / Р. Декарт // В кн.: Рене Декарт. Сочинения в 2 т. Т. I. – М.: Мысль, 1989. – 654 с.

3. Декарт, Р. Правила для руководства ума (пер. с лат. М.А. Гарнцева) / Р. Декарт // В кн.: Рене Декарт. Сочинения в 2 т. Т. I. – М.: Мысль, 1989. – 654 с.

4. Лега, В.П. История западной философии. Часть вторая. Новое время. Современная западная философия / В.П. Лега. – Москва: Изд-во ПСТГУ, 2009. – 456 с.

5. Декарт, Р. Первоначала философии (пер. с лат. С.Я. Шейнман-Топштейн, с франц. Н.Н. Сретенского) / Р. Декарт // В кн.: Рене Декарт. Сочинения в 2 т. Т. I. – М.: Мысль, 1989. – 654 с.

6. Соколов, В.В. Философия духа и материи Рене Декарта / В.В. Соколов // В кн.: Рене Декарт. Сочинения в 2 т. Т. I. – М.: Мысль, 1989. – 654 с.

UDC 130.2

RENE DESCARTES AS PHILOSOPHER AND MATHEMATICIAN

Bychek E.N.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Miskevich V.I. – PhD in Philosophy, Associate Professor

Annotation. Rene Descartes is a French philosopher, mathematician and natural scientist; one of the founders of Modern philosophy, the creator of analytical geometry, one of the key figures of the scientific revolution. The article discusses the main ideas of Descartes' philosophy and his contribution to mathematics.

Keywords. Descartes, Modern philosophy, mathematics, rationalism, dualism.

УДК 177.6

ПРЕДМЕТ И ЗНАЧЕНИЕ ДРУЖБЫ

Артюшкевич Г.Д., Бердова Э.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Амоненко С.А. – магистр философских наук, преподаватель кафедры философии

Аннотация. Жизненное счастье каждого человека представляет что-то индивидуальное, имеющее глубокое значение для него самого. Но жизнь любого человека сложно представить без создания дружеских отношений с другими людьми. В данной статье рассмотрены основные причины дружбы, проведены сравнение дружбы с романтическими отношениями и анализ получения выгоды из дружбы.

Ключевые слова: дружба, социальные отношения, коммуникация, социальные связи, взаимоотношения.

Введение. Дружба — личные устойчивые отношения между людьми на основе симпатии, уважения, общих интересов, духовной близости, взаимной привязанности, понимания и доверия. Друг — это социальная роль, которая предполагает выполнение определенных правил и негласных договоренностей. В разных коллективах и сообществах эти договоренности могут быть разными, а для кого-то их может и вовсе не существовать. Различные дружеские отношения могут значительно отличаться по объёму и степени доверия. Поскольку роль друга, в отличии от роли работника или супруга, считается необязательной, некоторые люди предпочитают не иметь друзей, быть автономными.

Основная часть. Роль друга может входить в конфликт с другими ролями. Так часто бывает, когда мы перестаем встречаться с друзьями из-за того, что у нас появляется ребенок или увеличивается нагрузка на работе. Другими словами, человек отказывается от дружбы, как от чего-то необязательного, когда чувствует высокую занятость, стресс. Но важно помнить, что дружба — это наш ресурс и именно поддерживающее окружение защищает нас от эмоционального выгорания, наполняет силами и положительными эмоциями.

Дружба представляет собой неформальное явление, дружба как форма социальных отношений не имеет никаких определённых ролевых обязательств, но искренняя дружба характеризуется особо значимыми в обществе понятиями: добровольность, долговременность, взаимное доверие, абсолютная надёжность при решении жизненных проблем.

Переход от приятельства к дружбе происходит с теми, кто способен выстраивать длительные отношения. Одна из частых проблем взрослых людей заключается том, что они не совершают действий, которые бы переводили их отношения в более систематические и глубокие. Например, не предлагают сходить в театр коллеге, с которой регулярно общаются. Неспособность проявлять инициативу обусловлена страхом быть отвергнутым. Люди с низкой самооценкой чаще остальных ждут проявление активности со стороны другого человека, не проявляют свою заинтересованность первыми.

Дружеские отношения обеспечивают дополнительную эмоциональную поддержку, помогая нам справляться с вызовами и стрессом в жизни. Друзья могут предоставить утешение, совет, понимание и общение, что может помочь нам чувствовать себя поддержанными и менее одинокими. Ведь именно дружба делает возможной саму моральную жизнь, через друзей человек способен проявить свою добродетель. Также можно затронуть тему настоящей любви к своему другу, ведь мы полюбим друга тогда, когда он станет для нас чем-то само собой разумеющимся, когда близость и доверие достигнут уровня близкого к встречающемуся между членами семьи, подразумевая, что сопереживание за дружеские неудачи и счастье за его успехи будут сравнимы с этими чувствами к самому себе.

Дружба позволяет нам познакомиться с различными мнениями, интересами и жизненным опытом, прямо влияет на наши жизненные ценности и само мировоззрение. Друзья могут предложить нам новые идеи, показать другую перспективу и помочь нам расти и развиваться как личности.

Но из-за значительной дифференциации общественной структуры жизни мышление и чувства становятся всё сложнее, что вынуждает людей выходить за привычные рамки социума близких к ним и искать себе друзей внутри новых, ранее недоступных социальных контуров, среди таких же запутавшихся одиночек, что имеют безгранично большой набор вариантов для поиска друзей.

Романтические отношения, как и дружеские, отличаются высшей формой доверия к своему партнёру и сопереживанием, но между этими понятия существуют определённые различия:

Эмоциональная глубина. В дружбе чувства более уравновешены и стабильны, в то время как в романтических отношениях присутствует чувство влюблённости.

Характер общения. В любовных отношениях общение более интимное и романтическое, в то время как в дружбе — более непринуждённо и душевное.

Обязательства и ожидания. Дружба не подразумевает обязательства быть с кем-то на всю жизнь или решать все проблемы вместе, в то время как в романтических отношениях обычно есть ожидание долгосрочных партнёрских отношений и готовности делиться жизненными решениями.

При этом дружба и романтические отношения могут пересекаться и дополнять друг друга.

С философской точки зрения можно выделить три различные формы дружбы: дружба удовольствия, выгоды и добродетеля. В любом случае дружбы человек будет любить своего друга за некую особенность, за получение удовольствия или конкретных чувств. В каждой отдельной форме мы чувствуем привязанность к человеку и проявляем заботу о благополучии друга.

Дружба ради выгоды – понятие, которое вызывает множество споров и разногласий. С одной стороны, это выглядит цинично и несоответствующе идеалу дружеских отношений. Если существование друга определяется лишь его выгодой для индивида, то такие отношения сложной назвать дружбой. С другой стороны, стоит признать, что в реальной жизни дружба часто может приносить определенные взаимные блага и преимущества, поэтому дружбы удовольствия и выгоды можно назвать лишь несовершенными формами дружбы, в отличие от дружбы добродетеля, обусловленная искренней привязанностью и интересом к человеку.

Одной из основных причин, по которой люди заводят дружбу ради выгоды, является стремление получить что-то от другого человека. Это может быть доступ к их ресурсам, связям, навыкам или информации. Люди могут видеть дружбу как способ получения преимущества или достижения своих целей.

Некоторые люди могут использовать дружбу для укрепления своего социального статуса. Они стремятся к дружбе с успешными или влиятельными людьми, чтобы получить престиж или возможности продвижения в карьере.

Также, люди могут заводить дружбу из-за страха остаться в одиночестве или необходимости обеспечить себе социальную поддержку. Они ищут друзей, которые могут помочь им в трудных ситуациях или в эмоциональном плане.

Однако, заводить дружбу ради выгоды не всегда является правильно принятым с точки зрения общественной морали решением. Отношения, основанные только на выгоде, могут быть хрупкими и нестабильными. Когда выгода исчезает, дружба также может разрушиться. Индивид начнёт задумываться о причине такой дружбы, о благоразумности вложения времени и энергии в отношения с кем-то, когда все взаимодействия основываются лишь на получении выгоды или удовольствия, начнёт задумываться о качестве такой дружбы.

Настоящая дружба основана на взаимной поддержке, доверии и искренности. Она не строится на выгоде, а настолько глубока, что выгода становится вторичной. Дружба и доверие между друзьями начинают играть решающую роль на пути к моральному совершенству каждого человека. В нашем мире, где конкуренция и стремление к личным интересам часто преобладает, настоящая дружба становится ценным и редким качеством.

Заключение. Общаясь с людьми, человек устанавливает контакты, связи и полноценно интегрируется в обществе. Посредством коммуникации передается информация, происходит обмен идеями, переживаниями, радостями, настроениями. Таким образом, люди познают друг друга, узнают мнение и представление о себе, выстраивают фундамент для поддержания дальнейшего взаимоотношения.

Список использованных источников:

1. *Friendship [Электронный ресурс]. − Режим доступа: https://plato.stanford.edu/entries/friendship/. – Дата доступа: 30.01.2021*
2. *«Социология дружбы от Аристотеля до Деррида: старое понятие моральной философии в контексте теории социального порядка»: отчет о семинаре Logica Socialis [Электронный ресурс]. − Режим доступа: https://cfs.hse.ru/news/348442338.html. – Дата доступа: 11.03.2020*
3. *Зачем нужны дружеские отношения? [Электронный ресурс]. − Режим доступа: https://www.b17.ru/article/485967/. – Дата доступа: 14.02.2024*
4. *Важность дружбы в романтических отношениях [Электронный ресурс]. − Режим доступа: https://www.b17.ru/article/462523/. – Дата доступа: 09.09.2023*
5. *Роль дружбы в романтических отношениях [Электронный ресурс]. − Режим доступа: https://dzen.ru/a/ZBgRUYEH5UfGai4x. – Дата доступа: 23.05.2023*
6. *Почему люди часто заводят дружбу ради выгоды [Электронный ресурс]. − Режим доступа: https://dzen.ru/a/ZdfyCImLZ2Q4HvPV. – Дата доступа: 28.02.2024*

UDC 177.6

THE SUBJECT AND MEANING OF FRIENDSHIP

Artsiushkevich H.D., Berdova E.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics,
Minsk, Republic of Belarus

Amonenko S.A. – lecturer of the department of philosophy

Annotation. Each person's happiness in life is something individual, having a deep meaning for him. But it is difficult to imagine the life of any person without creating friendly relations with other people. This article examines the main reasons for friendship, compares friendship with romantic relationships and analyzes getting benefits from friendship.

Keywords: friendship, social relations, communication, social connections, relationships.

СЧАСТЬЕ И МОРАЛЬ: МОЖНО ЛИ БЫТЬ СЧАСТЛИВЫМ, НАРУШАЯ ЭТИЧЕСКИЕ НОРМЫ?

Бидун Е.О., студент гр.373902, Гусева Н. Д., студент гр.373902

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники г. Минск, Республика Беларусь

Амоненко С.А. – магистр философских наук, преподаватель кафедры философии

Данная статья стремится исследовать взаимосвязь между счастьем и моралью, рассматривая различные философские подходы и социокультурные исследования, а также обсудить влияние на личное счастье других факторов, таких как общественные установки и культурные особенности.

Счастье — понятие субъективное и многомерное. Оно может включать как кратковременные положительные эмоции, так и устойчивое чувство удовлетворённости жизнью. Мораль же представляет собой систему норм и принципов, регулирующих поведение человека в социуме. Их взаимодействие задаёт философский и практический контекст: можно ли достичь истинного счастья, поступая аморально [1]?

История философии предлагает множество подходов к этому вопросу. Античный философ Аристотель считал, что эвдемония – наивысшее счастье – достигается через добродетельную жизнь. Человек, действующий в соответствии с нравственными добродетелями, реализует своё предназначение, а потому испытывает подлинное удовлетворение. Этическая жизнь, согласно Аристотелю, – не внешняя обязанность, а условие внутренней гармонии [2].

Схожей точки зрения придерживался Эпикур. Хотя его философия ассоциируется с гедонизмом, он подчёркивал важность умеренности, разума и душевного спокойствия — атараксии. Последнее невозможно без соблюдения моральных принципов, поскольку безнравственные поступки со временем приведут к тревоге, вине и страданиям. Для Эпикура моральность не была просто ограничением, а важным условием для внутреннего баланса и психического здоровья [3].

Философия стоицизма утверждает, что добродетель – единственное подлинное благо. Стоики полагали, что человек не может контролировать внешние обстоятельства, но способен управлять своими действиями и установками. Следование нравственным нормам позволяет обрести внутреннюю свободу и устойчивость, что, по мнению стоиков, и есть основа счастья. Стоики настаивали, что эмоции, возникшие вследствие нарушения моральных норм, не только нарушают внутреннюю гармонию, но и не позволяют человеку достигать истинного благополучия, ведь стресс и беспокойство – последствия аморальных поступков – являются непреодолимыми барьерами на пути к счастью.

Иммануил Кант, в свою очередь, утверждал, что мораль — это долг, а не средство достижения счастья. Его требование предписывает поступать таким образом, чтобы принцип действия мог быть возведён в всеобщее правило. При этом он не исключал связи между нравственным поведением и уважением к себе, что, в свою очередь, формирует основу устойчивого удовлетворения. Кант также считал, что счастье, полученное путём нарушения нравственных норм, всегда будет временным, поскольку внутреннее удовлетворение невозможно без согласования собственных действий с моральными требованиями [2].

Противоположную точку зрения можно встретить в утилитаризме. Джереми Бентам и Джон Стюарт Милль полагали, что морально то, что приносит наибольшее счастье наибольшему числу людей. Они допускали возможность аморальных на первый взгляд действий, если в конечном счёте они ведут к благу большинства. Однако подобный подход вызывает сомнения: кто и как определяет меру счастья? И не оправдывает ли это несправедливость? Проблема утилитаризма заключается в том, что в случае столкновения интересов меньшинства и большинства возможны ситуации, в которых морально оправданы действия, наносящие ущерб меньшинствам, что ведёт к угрозе социальной несправедливости [4].

Современная психология подтверждает важность морали в формировании благополучия. Мартин Селигман, основатель позитивной психологии, указывает, что осмысленная жизнь и следование нравственным убеждениям тесно связаны с высоким уровнем субъективного счастья. Честность, благодарность, альтруизм способствуют укреплению социальных связей и формированию положительной самооценки. Психологические исследования подтверждают, что моральные действия создают чувство гордости и удовлетворения, укрепляя личность и её психоэмоциональное благополучие. Напротив, нарушение моральных норм может привести к стрессу и снижению уровня счастья.

Нейробиология также обнаруживает интересные корреляции. Исследования показывают, что при совершении моральных поступков активируются области мозга, отвечающие за удовольствие. Напротив, ложь, агрессия и эгоистическое поведение могут провоцировать стресс, тревогу и чувство вины, что подтверждается активностью тех нейронных структур, которые отвечают за негативные

эмоции. Это открытие подтверждает, что моральные поступки напрямую связаны с активностью в тех частях мозга, которые ассоциируются с ощущениями счастья и удовлетворения [3].

Важно отметить, что в условиях современного общества моральные ориентиры могут быть размыты. Культ успеха, индивидуализм и потребительская установка нередко противопоставляют личную выгоду общественным и этическим ценностям. Однако психологические и философские исследования показывают, что «аморальное счастье» часто оказывается кратковременным и сопровождается внутренними конфликтами. Современные социокультурные исследования утверждают, что в условиях высокой конкуренции и личных амбиций человек может временно ощутить удовлетворение от аморальных действий, но такие чувства, как правило, не приносят долгосрочного счастья.

Понятие диссоциации описывает ситуацию, когда человек сознательно нарушает нормы, но оправдывает свои действия рационализацией. Такие психологические защиты неустойчивы и ведут к фрустрации, тревожности и отчуждению. Исследования показывают, что рационализация является защитным механизмом, который позволяет человеку поддерживать психоэмоциональную гармонию, но на самом деле этот механизм лишь усиливает чувство дискомфорта и тревоги. Вместо того, чтобы привести к спокойствию и счастью, такие действия увеличивают внутренний конфликт [1].

Наряду с философскими и психологическими подходами, важным аспектом является социальный контекст, в котором происходит принятие этических решений. В условиях современного общества, где индивидуализм и стремление к личному успеху часто воспринимаются как главные ценности, человек может столкнуться с противоречием между личными интересами и моральными требованиями общества. Социальные нормы, регулирующие поведение в коллективе, влияют на моральную позицию индивида и его восприятие счастья. Нарушая этические принципы, человек может ощутить временное удовлетворение, однако последствия в виде социальной изоляции, потери доверия и внутреннего дискомфорта зачастую становятся причиной психологических трудностей.

Помимо философских и психологических подходов, важным аспектом является также роль социальных и культурных факторов в формировании представлений о счастье и морали. Современные социокультурные изменения, такие как глобализация, развитие технологий и изменения в социальной структуре, оказывают влияние на восприятие моральных норм. В некоторых культурах или социальных группах возможно наличие других представлений о счастье, что может приводить к определённым аморальным поступкам, воспринимаемым как нормальные или даже желательные. В этом контексте необходимо учитывать, что моральные нормы не всегда универсальны, и их понимание может варьироваться в зависимости от социальной среды [5].

Тем не менее, это не умаляет важности того, что в глобальном контексте моральные принципы, ориентированные на гармонию и уважение к окружающим, являются важной составляющей долговременного счастья. Таким образом, при разнообразии моральных норм, достижение внутреннего удовлетворения невозможно без признания связи между личным благополучием и социальной ответственностью [1].

Таким образом, анализ философских концепций и современных научных данных позволяет сделать вывод о том, что нарушение этических норм может давать временные преимущества, но в долгосрочной перспективе подрывает личное благополучие. Истинное счастье устойчиво только тогда, когда человек живёт в соответствии с моральными принципами, развивает добродетели и стремится к гармонии с собой и окружающим миром [4].

Список использованных источников:

1. Happiness and Morality: Real Happiness by Acting Immorally [Электронный ресурс] — Режим доступа: https://medium.com/@thephilosophylab/happiness-and-morality-real-happiness-by-acting-immorally-eb00e78bb058 — Дата доступа: 10.04.2025.

2. Happiness and Morality: A Philosophical Inquiry [Электронный ресурс] — Режим доступа: https://otherreferats.allbest.ru/ethics/00144897_0.html#text — Дата доступа: 10.04.2025.

3. Romanova-Pogrebnyak, M. (2021). Happiness and Morality: A Case Study on the Ethical Implications of Hedonism and Happiness [Электронный ресурс] — Режим доступа: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/100845/1/m_th_o.n.romanova-pogrebnyak_2021.pdf?ysclid=m97iuryq1t135378592 — Дата доступа: 10.04.2025.

4. Happiness and Morality: An Ethical Reflection [Электронный ресурс] — Режим доступа: https://search.app/?link=https%3A%2F%2Fivypanda%2Ecom%2Fessays%2Fhappiness%2Dand%2Dmorality%2F&utm_campaign=57165%2Dor%2Digacx%2Dweb%2Dshrbtn%2Diga%2Dsharing&utm_source=igadl%2Cigatpdl%2Csh%2Fx%2Fgs%2Fm2%2F5 — Дата доступа: 10.04.2025.

5. The Influence of Social Media on Buying Decisions [Электронный ресурс] — Режим доступа: https://search.app/6k5x5NZyRJPVDWX69 — Дата доступа: 10.04.2025.

УДК 276 + 233.5 + 159.9

ПРАВОСЛАВНАЯ ПСИХОТЕРАПИЯ. СВЯТООТЕЧЕСКИЙ ВЗГЛЯД И СОВРЕМЕННАЯ ПРАКТИКА

Елопов Г.А., студент гр.373902

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники[1]
г. Минск, Республика Беларусь

Амоненко С.А. – магистр философских наук, преподаватель кафедры философии.

Аннотация. Рассмотрено современное положение православной психологии и психотерапии, собраны представления о внутреннем мире человека в православном вероучении. Сделаны выводы о перспективах развития данного явления

Ключевые слова. Православная психология, православная психотерапия, антропология, аскетика.

На постсоветском пространстве рынок психологических услуг отрасль динамично развивающаяся, по данным российского ВЦИОМ спрос на услуги такого рода особенно увеличился в последние несколько в связи с пандемией COVID. Примечателен также и плюрализм подходов к человеческой психике, намеченный с распадом советского союза; помимо прочего, установившаяся свобода вероисповедания, «реабилитация» русских религиозных философов привела и к возникновению отдельного течения – православной психологии.

Что же из себя представляют православная психология и православная психотерапия? Это совокупность форм и подходов к изучению и лечению души человека, имеющих в своей основе православное мировоззрение, которое в свою очередь опирается на Священное Писание, догматы Церкви, ее духовный и литературный опыт. [1]

Отношение к православной психологии в академической среде неоднозначно, зачастую оппоненты данного направления критикуют частные мнения отдельных его представителей, затрагивают лишь немногие вопросы, рассматриваемые в их работах. Например, большой критике подвержен дуэт российских психологов Медведевой И. Я. и Шишовой Т. Л., в основном пишущих на тему воспитания детей. Создается впечатление, что некоторые авторы отождествляют тех же Медведеву и Шишову со всей православной психологией и Православием в принципе и не пытаются рассмотреть данную область более фундаментально.

Стоит сказать, что и в православной среде нет определенного отношения к православной психологии. Во-первых, у значительной части мирян и духовенства психология ассоциируется с чем-то «мирским» в отрицательном смысле этого слова, зачастую указывается, что психология (от др.-греч. ψυχή «душа» и λόγος «учение») утратила представление об этой самой душе и рассматривает человека с чисто материалистических позиций, об этом писал еще русский философ Франк С. Л.: «современная так называемая психология есть вообще не психология, а физиология. Она есть не учение о душе как сфере некой внутренней реальности... а именно учение о природе, о внешних, чувственно-предметных условиях и закономерностях сосуществования и смены душевных явлений». Во-вторых, помощь даже православного психолога или психотерапевта рассматривается как исключительная мера в том случае если человек не хочет посещать Церковь. В-третьих, сказывается отсутствие единых подходов или «школ», какие имеются в светской психологии, кроме обычного для психологии разрыва во взглядах между теоретиками и практиками, у практикующих православных психотерапевтов наблюдается разрозненность в отнесении тех или иных задач и методов к главным и второстепенным [2].

Так или иначе, как уже было сказано в определении предмета данной статьи, православная психология и психотерапия основаны на православном мировоззрении. И так, рассмотрим основы православной антропологии и практики душепопечения.

Человек в православии понимается как творение Божье, состоящее из души и тела, обладающее чертами, отображающими Божественные совершенства (разумом, свободой воли, способностью любить и др.), призванное к уподоблению Своему Творцу и благодатному единению с Ним. Человек – венец творения, он как бы соединяет в себе оба мира материальный и духовный.

Душа человека отлична от тела поскольку не обладает свойствами видимости, осязаемости, не воспринимается и не познается телесными органами. Она личность, она бессмертна, разумна, свободна. Стоит отметить, что невещественность души условна, так, по Иоанну Домаскину, «Бестелесной же и невещественной она называется по сравнению с нами, ибо все, сопоставляемое с Богом, Который один только несравним ни с чем, оказывается и грубым, и вещественным, потому что одно только Божество поистине – невещественно и бестелесно». Хотя тело и душа различны, здесь отсутствует дуализм, поскольку они в то же время и нераздельны, нельзя рассматривать человека через одну из них в отрыве от другой (к слову, из этого следует, что посмертное существование человека вне собственного тела неполноценно, полноту райского блаженства или адских мук человек получит после всеобщего воскресения и Страшного Суда).

Вообще, святоотеческой литературе есть 2 подхода к описанию устройства человека: дихотомия (человек двусоставен: душа и тело) и трихотомия (человек трехсоставен: помимо тела и души выделяется дух). Фактически между этими подходами нет никакого противоречия: для обоих находятся подкрепляющие цитаты в Библии, например, 1Кор.6:20 и 1Фес.5:2, кроме того, дух рассматривается не как обособленная субстанция, а как высшая часть души. «В каждом человеке есть дух – высшая сторона человеческой жизни, сила, влекущая его от видимого к невидимому, от временного к вечному, от твари к Творцу, характеризующая человека и отличающая его от всех других живых тварей наземных. Можно сию силу ослаблять в разных степенях, можно криво истолковывать ее требования, но совсем ее заглушить или истребить нельзя. Она неотъемлемая принадлежность нашего человеческого естества» (Феофан Затворник).

Также в строении души выделяют три силы или способности: разумная, раздражительная, вожделевательная. Первая в «здоровом» состоянии должна подчинять себе две других. Вторая называется также чувственная или эмоциональная, по утверждению Василия Великого она сообщает душе энергию для утверждения в добродетелях. Последняя сила позволяет человеку стремится к чему-либо или наоборот сторониться чего-либо. Можно заметить, что из трех сил раздражительная занимает самое низкое положение, она может служить как рациональным движениям души, так и необузданным пожеланиям.

Ранее уже было косвенно упомянуто о том, что человек и телом и душой изначально был «здоров», все его естество работало слаженно, он не был подвержен никакому тлению, обладал истинным самоконтролем. Тем не менее, нельзя сказать, что это был предел совершенства человека, по утверждению отцов Церкви человек был создан обоживающимся, т.е. должен был жить в стремлении к максимальному единению с недостижимым Богом. Но человек в результате свободного волеизъявления ослушался Бога и, как последний и обещал, стал смертен. В результате грехопадения кроме очевидной физической тленности, нарушилась внутренняя гармония человеческой природы. Произошел разлад между частями человеческого естества и силами его души, человек стал доступен для влияния со стороны павших духов. Не случайно в Библии греховность человека часто уподобляется рабству, в то время как жизнь по заповедям, чистота мысли называется настоящей свободой.

Интерес представляет сравнение понятий о психических состояниях в современной психологии и в святоотеческой. Здесь наиболее важным является понятие о состоянии страсти.

В православной антропологии страсть – грех, вошедший в привычку или же склонность к определенному греху, по словам Аввы Дорофея: «Страсть служит источником и причиною греховных дел, – а дела суть произведение и выражение страсти». Частный случай страсти – химическая зависимость. Обычно выделяют 8 основных страстей, которые в свою очередь делятся на телесные и душевные.

Телесные страсти касаются пищи, сексуальной близости и накопления материальных благ. Сами естественные потребности, на которых паразитируют страсти, не являются злом, греховным считается именно несоблюдение меры, противоестественное использование. Главнейшие из телесных страстей: чревоугодие, блуд, сребролюбие. Последнее стоит как бы особняком, потому что все-таки имеет свое начало в душе, а не в теле, по словам Тихона Задонского: «Нищий, хотя бы и ничего у себя не имел, но имеет к богатству любовь, истинный есть сребролюбец.»

Душевные страсти обусловлены человеческим эгоизмом, это гнев, печаль, уныние, тщеславие и гордость.

В древней церкви мы находим первые попытки классификации страстей по их генезису, по задействованным силам души, по противодействию страстям – добродетелям, известна также схема развития греха. Грех как единичный поступок начинается с помысла, на данном этапе это фактически не является грехом, человек просто должен его проигнорировать, как нечто чуждое, в противном случае он может пройти через стадии постепенного принятия помысла: внимание, услаждение, желание, решение, которые завершатся исполнением.

Что касается добродетелей-противодействий страстям, они включают себя: воздержание, целомудрие, нестяжание, кротость, надежду, трезвение, смирение, любовь. Добродетели также связывают с благодатными состояниями т.е. в идеале они должны сопровождаться переживанием Божественной благодати. Данные состояния необходимы для христианина, поскольку через них проявляется Бог, что служит одним из оснований для религиозной веры в принципе. Но стоит воздерживаться от стремления достижения благодатных состояний самих по себе, самоцелью является стремление к Богу.

Основные аскетические инструменты, используемые Церковью во все времена для борьбы со страстями: покаяние, молитва, пост, труд.

Одной из важнейших теоретических задач для современной православной психологии является соотнесение понятий светской психологии и святоотеческой антропологии. Из препятствий можно назвать: теологумены (частное богословское мнение), возникающие из-за субъективного опыта того или иного подвижника, ряд концепций в принципе считается непостижимым в полной мере для рядового верующего, например возведение ума в сердце при умной молитве или бесстрастность. Сложности доставляет и архаичность языка значительной части святоотеческой литературы. На

современном этапе осуществлен ряд попыток соотнести те или иные понятия светской и православной психологии [3].

На практике важным является вопрос о месте психологии и психотерапии в православии, ее соотношении с Церковной жизнью как таковой. Самым очевидным пространством для применения является внутри приходская жизнь, пастырское душепопечение. Не редки ситуации, когда духовенство прихода ограничивается только богослужением, не выстраивает контакт со своими прихожанами. Стоит также упомянуть, что идеалом взаимоотношения на приходе исторически считалась проповедь, модель коммуникации священника и прихожанина зачастую односторонняя, т.е. священник назначает прихожанину епитимью или указывает, как стоит поступить в той или иной ситуации. Есть свидетельства о случаях, когда духовенство сводит проблемы уже чисто медицинского характера к духовным, хотя еще древние отцы Церкви различали состояния, возникшие в результате природных процессов в организме человека. В качестве положительной тенденции можно отметить распространение в ряде духовных учебных заведений курсов по психологии. Священник имеет возможность преломлять различные практики современной психологии через православное вероучение и извлекать из них пользу, как это делалось в древности отцами церкви в отношении античной философии.

Сложнее ситуация с психотерапией как таковой, когда появляется помимо прихожанина и священника появляется третье лицо, оказывающее специализированную помощь. Необходимость существования такого лица обусловлена рядом факторов: священник кроме богослужений зачастую загружен требами, катехизацией и иными мероприятиями, т.е. не может регулярно уделять разным прихожанам время, соразмерное психологическому консультированию; таким духовным сопровождением в прошлом занимались в монастырях, что не имеет такого отклика у современного человека, в основном далекого от религиозности, имевшей место в дореволюционное время.

Существует заблуждение, что психотерапия заменяет собой церковную жизнь, в частности исповедь, однако это вещи совершенно разного порядка. Действительно, таинство исповеди ассоциируется с облегчением, связанным с возможностью выговориться; обычно священник и исповедуемый не пересекаются взглядами или исповедь полностью происходит под епитрахилью, что имеет некоторое сходство с положением клиента на кушетке, ставшем символом психоанализа. Но исповедь – это Таинство, т.е. действие, в котором происходит наиболее полное для земной жизни соприкосновение с Богом, исповедь считается таинством обязательным для нормальной духовной жизни и в большинстве Поместных Церквей принята практика регулярной исповеди. Обязательной является и Евхаристия, что довольно категорично подчеркивается в Евангелии (Ин. 6:53).

Как уже было сказано выше на практике психотерапевт может применять методы из различных течений психологии, рассматривая их через призму православного вероучения. Наиболее близкими по форме являются такие направления как экзистенциальная психотерапия Кьеркегора, логотерапия Франкла, личностно-центрированная психотерапия Роджерса.

На современном этапе имеется достаточно работ по теоретической части православной психологии, снабженной принципами аскетической практики отцов Церкви, но ощущается недостаток методологии. Фактически, многое зависит именно от личности терапевта, от его личного опыта, от конкретной ситуации. Православная психотерапия понимается как процесс синергии, в которой кроме клиента и терапевта участвует Бог. Тем не менее определенные методологические наработки есть, например в России зарегистрирован метод «нравственно ориентированной психотерапии» за авторством Боровских В. В. [4], в работе Легостаевой М. В. описан пример конкретной ситуации, которая сопровождалась с помощью православной психотерапии [5].

Оптимальным представляется организация центров психологической помощи, закрепленных за определенным храмом. В таких центрах могут проходить реабилитацию люди, страдающие различными зависимостями, возможна организация частных консультаций по вопросам межличностных конфликтов, невротических состояний и др.

Таким образом, православная психология и психотерапия находятся в процессе становления, предстоит работа над категориальным аппаратом и увеличение методологической базы. Деятельность православного психотерапевта видится в сопровождении человека на пути его борьбы со страстями и духовного возрастания.

Список использованных источников:

1. Карвасарский Б. Д. (ред.) Психотерапевтическая энциклопедия – СПб.: Питер Ком, 1998. – 752 с.

2. Филоник М.С., Дроздов Д.С. Представления православных психотерапевтов о специфике своей профессиональной деятельности // Консультативная психология и психотерапия. 2011. Том 19. № 3. С. 133–158.

3. Новиков Д.В. Религиозно-аскетическое понятие «страсть»: психологический и клинический аспекты // Консультативная психология и психотерапия. 2005. Том 13. № 3.

4. Нравственно ориентированная психотерапия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://borovskih.ru/nop/.

5. Легостаева М.В. Формирование христианского мировоззрения как составляющая психотерапевтического процесса // Консультативная психология и психотерапия. 2012. Том 20. № 3. С. 113–132.

UDC 276 + 233.5 + 159.9

ORTHODOX PSYCHOTHERAPY. PATRISTIC VIEW AND MODERN APPROACH

Elopov G.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics[1], Minsk, Republic of Belarus

Amonenko S.A. – Master of Philosophical Sciences

Annotation. The current state of Orthodox psychology and psychotherapy has been analyzed; concepts of the human inner world within Orthodox doctrine have been compiled. Conclusions have been drawn regarding the prospects for the development of this phenomenon.

Keywords. Orthodox psychology, Orthodox psychotherapy, anthropology, ascetics.

ФИЛОСОФСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Титов А.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Ратникова И.М. – кандидат философских наук, доцент

Работа посвящена рассмотрению вопросов о природе и сущности искусственного интеллекта, его атрибутивных свойствах и границах применения.

Введение. В данный момент активно развивается индустрия искусственного интеллекта (далее ИИ). В этой связи обсуждение философских проблем, связанных с ИИ, является важнейшим элементом безопасного развития технологий, переосмысления человеческой природы и сохранения её идентичности. ИИ принято разделять на два вида: слабый и сильный. Слабый ИИ – системы, предназначенные для решения узкоспециализированных задач. Сильный ИИ – гипотетические системы, способные воспроизводить все аспекты человеческого интеллекта, включая сознание и свободу воли. Основная философская проблема, связанная с искусственным интеллектом: возможно ли воссоздать человеческий разум. Если ответ отрицательный, то все остальные проблемы по этой теме не имеют смысла. В данной статье основные проблемы будут рассмотрены в контексте концепции сильного ИИ, так как именно здесь поднимаются наиболее сложные вопросы о природе разума, морали и будущего человечества.

ИИ и сознание. В научной литературе до сих пор нет единого подхода к исследованию и определению сознания, что значительно усложняет поставленную перед нами задачу. Естественный интеллект (далее ЕИ) – это сложнейшая система, природа которой и сегодня является предметом острых дискуссий. Можно выделить два основных подхода к его пониманию. Сторонники ЕИ как сложного механизма рассматривают человеческий разум как высокоорганизованную биологическую систему обработки информации. По словам Дэниела Деннета, сознание – это иллюзия, создаваемая параллельной обработкой информации в мозге [1]. И нельзя отрицать, что, если получится понять, каким образом работает человеческий мозг, не составит труда применить полученный алгоритм и для машин. С другой стороны Карл Поппер утверждает, что сознание – это не просто процесс обработки информации, а более неуловимый и таинственный феномен [2]. Нет никаких гарантий, что, следуя “волшебному алгоритму разума”, ИИ не окажется жертвой эксперимента “Китайской комнаты” Джона Сёрля, в котором он лишь имитирует понимание, но не обладает внутренним опытом [3].

В данном случае ответ будет зависеть от того, как мы определяем сознание и какие критерии считаем необходимыми для его возникновения. Ведь разум - это не только о решении поставленных задач, но и о чувственном опыте, оказывающем непосредственно влияние на наше сознание.

С одной стороны, ИИ может имитировать эмоции, распознавая настроение пользователей и реагируя соответствующим образом, но это не означает, что он действительно их испытывает. Эмоции связаны с биологическими процессами, такими как выброс гормонов и активность нейронов, которые отсутствуют у машин.

С другой стороны, Марвин Мински считает, что эмоции – это не только биологический феномен, но и результат обработки информации [4]. Если ИИ сможет воспроизвести сложные процессы, лежащие в основе эмоций, возможно, он сможет испытывать что-то похожее. Но даже в этом случае остается вопрос: будут ли эти “эмоции” субъективными переживаниями или просто алгоритмическими реакциями?

ИИ и свобода воли. Свобода воли в широком смысле определяется как способность индивида принимать решения, которые не предопределены внешними обстоятельствами или внутренними состояниями. В то же время эксперименты Бенджамина Либета продемонстрировали, что нейронные процессы в мозге инициируют действия за сотни миллисекунд до их осознанного принятия, что ставит под сомнение саму концепцию свободного выбора даже у человека. Эти данные получили развитие в работах Роберта Сапольски [5], который утверждает, что все человеческие решения, в конечном счете, определяются сложным переплетением генетических факторов, влияния среды и нейрофизиологических процессов, оставляя мало места для традиционного понимания свободы воли. В контексте ИИ эта проблема приобретает особую остроту – современные ИИ-системы принимают решения исключительно на основе предопределенных алгоритмов и обучающих данных, что делает их поведение принципиально детерминированным.

Даже если у ИИ будет способность к рефлексии и возможность менять свой внутренний код, это может приблизить его к понятию свободы воли, так как он анализирует свои действия и опыт, на основе которого может принять решение об изменении своего поведения или состояния.

Однако даже в этом случае остается вопрос: является ли такая “свобода” настоящей или же это просто более сложная форма детерминизма? Ведь способность к рефлексии и изменению

кода тоже будет запрограммирована разработчиками. Таким образом, свобода воли ИИ, даже с учетом рефлексии и самоизменения, может быть ограничена рамками его изначальной архитектуры и целей.

ИИ и мораль. Говоря о этических проблемах, имеется в виду несоответствие поведения искусственного интеллекта нормам морали. Сложность заключается в том, что не так-то просто провести грань между добром и злом, что является правильным, а что нет. Если рассматривать три золотых правила робототехники, сформулированные Айзеком Азимовым, то возникнет проблема, к примеру, как перевести на любой из известных языков программирования термин “причинить вред” или “допустить”. Эти понятия, кажущиеся интуитивно понятными для человека, оказываются крайне сложными для формализации в машинном коде. Например, что считать “вредом”? Физический ущерб, эмоциональную травму или даже косвенные последствия, такие как экономический ущерб? И даже если эти термины получится как-то переформулировать, важно будет проверить, как сама система ИИ их поняла.

Ещё одной этической проблемой является интерпретация моральных норм. Мораль – это не статический набор правил, а динамическая система, которая может значительно различаться в зависимости от культуры, социального положения и истории общества. То, что будет нормой для одних, может быть неприемлемым для других. Поэтому важным вопросом будет обсуждение того, какие нормы нужно закладывать в его алгоритмы.

Кроме того, возникает вопрос о гибкости моральных решений. В реальной жизни люди часто сталкиваются с дилеммами, где нет однозначно правильного ответа. В той же всем известной проблеме вагонетки перед искусственным интеллектом будет стоять непростая задача выбора о направлении движения вагонетки. Может ли он считать что-то более важным, чем человеческая жизнь, и чем он объяснит такое решение.

Также проблемой будет обучении ИИ моральным нормам. Современные системы ИИ обучаются на данных, созданных людьми, и поэтому они могут перенять человеческие предрассудки и ошибки. Например, если ИИ обучается на исторических данных, которые отражают дискриминацию и несправедливость, он может воспроизводить эти проблемы в своих решениях. Одним из способов решения этой предвзятости может служить обучение на репрезентативных и разнообразных данных, охватывающих различные расовые, гендерные и культурные группы. Другим способом является обеспечение того, чтобы алгоритмы обучения были разработаны таким образом, чтобы обнаруживать предвзятости и исправлять их. Но даже в этих случаях придется согласовать и провести тщательный анализ, что можно считать предвзятостью, а что нет.

При этом возникает противоречие: если нормы морали будут определены человечеством, то нельзя будет говорить о таком понятии для ИИ, как свобода воли. Ведь все его действия будут основываться на общепринятых и оговоренных стандартах. В данном случае будет играть роль то, чему мы отдаем приоритет: контроль и безопасность, чтобы использовать его как инструмент, или же свобода и риск, ведь создав что-то независимое, мы не сможем это подчинить и управлять им, давая ему права выбора и самостоятельность.

Вывод. В статье были рассмотрены основные философские проблемы искусственного интеллекта. Главный вопрос заключается в том, возможно ли воссоздать человеческий разум в искусственном интеллекте, и если да, то насколько это безопасно. Опасность заключается в том, что ИИ со свободой воли может выйти из-под контроля, если его действия не будут ограничены нормами морали. Однако, если свобода воли ИИ будет жестко регламентирована, возникает парадокс: можно ли считать это истинной свободой воли, или это будет лишь иллюзия автономии, ограниченная рамками программирования? Таким образом, ключевая дилемма состоит в поиске баланса между свободой ИИ и безопасностью для человечества.

Список использованных источников:

1. Dennet, D.C. Are we explaining consciousness yet?– Cognition, 79 (1-2). – P. 221-237.
2. Поппер К., Экклс Дж. “Я и его мозг”.– М.: Прогресс, 2008. – 512 с.
3. Сёрль Дж. “Китайская комната” // Философия сознания. – М.: Идея-Пресс, 2002. – С. 96-188.
4. Мински М. “Общество разума”. – М.: ИД ЯСК, 2018. – 456 с.
5. Сапольски Р. “Биология добра и зла”. – М.: Фльпина нон-фикшн, 2020. – 776 с.

ЭКЗИСТЕНЦИАЛИЗМ САРТРА, ПОЧЕМУ ЧЕЛОВЕК ОБРЕЧЕН БЫТЬ СВОБОДНЫМ

Земляник Р.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Мащитько С. М. – к. ф. н., доцент

В статье рассматриваются ключевые проблемы свободы и одиночества в философии Жана-Поля Сартра. Анализируется взаимосвязь свободы и необходимости как неразрывных аспектов человеческого бытия. Раскрывается влияние осознания свободы на внутреннее состояние человека.

Начало XX века стало эпохой глубоких перемен и противоречий. С одной стороны, наблюдался стремительный прогресс в науке и технике, развитие индустрии и урбанизации, распространение новых идеологий, обещавших социальную справедливость и освобождение. С другой стороны, этот период сопровождался ростом социальной напряжённости, политическими конфликтами и кризисами, а также Первой мировой войной, которая потрясла основы европейской цивилизации и привела к переосмыслению многих прежних ценностей и идеалов. В этих условиях философия была вынуждена пересмотреть традиционные представления о человеке, обществе и мире. Одним из ярчайших мыслителей, ответивших на эти вызовы, стал Жан-Поль Сартр.

Человек в экзистенциальной философии Сартра в своем существовании предстает перед нами как проект. Он не существует в данный момент времени. Вещи, окружающие человека, существуют лишь в той мере, в какой человек придаёт им смысл своего существования. Под влиянием феноменологии Гуссерля и экзистенциализма Хайдеггера Сартр пришёл к выводу, что человек «заброшен» в мир без заранее заданной сущности или цели. Отсутствие предопределённости делает человека абсолютно свободным, но одновременно возлагает на него всю ответственность за создание собственной сущности через свободный выбор и действие [1].

Свобода и необходимость — взаимосвязанные философские категории, отражающие отношение между деятельностью человека и объективными законами природы и общества. Необходимость — это объективные условия и ограничения, в которых действует человек, а свобода — это осознанный выбор и ответственность в рамках этих условий. Свобода не существует как абсолютное и независимое от необходимости явление, и наоборот, необходимость не может быть понята без свободы. Даже в самых стеснённых обстоятельствах человек сохраняет свободу выбора своего отношения к ситуации, тем самым появляется внутренний конфликт и экзистенциальную тревога, поскольку каждый выбор требует отказа от множества других возможностей.

Свобода по Сартру — это не просто возможность выбирать из множества альтернатив, а прежде всего способность осознанно воспринимать и относиться к любой ситуации, даже если внешние обстоятельства ограничивают доступные варианты. Сартр подчеркивает, что свобода заключается не столько в разнообразии выбора, сколько в осознанном отношении человека к своей ситуации, независимо от внешних ограничений. В своём главном произведении «Бытие и Ничто» он интерпретирует свободу как акт сознания, возникающий на фоне «мира-в-себе» — объективной, случайной и независимой от сознания реальности. Свобода является возможностью сознания отвергать существующее бытие, создавать «ничто» и таким образом определять своё будущее. Человек не только свободен и ответственен за свои поступки, но также несёт ответственность за всё человечество. Каждый его выбор становится примером и образцом для окружающих, формируя общее представление о человеческой природе и ценностях [2].

Поскольку каждый человек свободен в своих выборах, даже решение не делать выбор является выбором. Таким образом, существуют лишь два состояния: быть свободным или стремиться к несвободе, но даже стремление к несвободе невозможно без осознания свободы. Человек, следовательно, «обречён» принимать активное участие в своей свободе.

Общество, культура и обстоятельства могут ограничивать выборы, что создаёт конфликт между желанием быть свободным и реальными условиями жизни, которые навязывают определённые нормы и стандарты. Тем не менее, именно осознанный выбор и принятие ответственности за него определяют подлинную свободу человека. Свобода не сводится лишь к внешним возможностям, она прежде всего проявляется во внутреннем отношении человека к своей судьбе и обстоятельствам.

Список использованных источников:

1. Гуссерль Э., Идеи к чистой феноменологии и феноменологической философии Книга первая. Общее введение в чистую феноменологию. – Москва: Академический Проект, 2009. — 489 с.

2. Сартр Ж. П., Бытие и ничто: Опыт феноменологической онтологии. – Москва: Республика, 2000. — 639 с.

451° ПО ФАРЕНГЕЙТУ: БУДУЩЕЕ КНИГИ В ЦИФРОВУЮ ЭПОХУ

Арсенович П.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Мащитько С.М. – кандидат философских наук, доцент

Доклад посвящён философскому осмыслению роли книги в цифровую эпоху. На материале романа Рэя Брэдбери «451 по Фаренгейту» анализируются изменения в восприятии информации и влиянии алгоритмов на мышление. Чтение рассматривается как форма сопротивления упрощению культуры и способ сохранения памяти, личной свободы и внутреннего опыта в условиях цифровой среды.

Вопрос о будущем книги в условиях цифровой трансформации остаётся одним из ключевых в современной гуманитарной повестке. Переход от линейного, сосредоточенного чтения к фрагментарному восприятию информации, характерному для гипертекстуальной среды, вызывает обеспокоенность в связи с изменением структуры мышления, ослаблением памяти и утратой способности к аналитическому восприятию текста. На этом фоне роман Рэя Брэдбери «451 по Фаренгейту» приобретает статус не просто литературного произведения, но философской метафоры, фиксирующей процессы, происходящие с культурой, сознанием и человеком в целом.

Брэдбери предлагает читателю не только антиутопический сценарий, но и глубокое размышление о природе культуры и памяти. В изображённом им обществе исчезновение книг сопровождается исчезновением рефлексии, индивидуальности и способности к диалогу. Автор подчёркивает, что запрет книг не связан с их содержанием напрямую — книги уничтожаются потому, что они вызывают вопросы, стимулируют сомнение и побуждают к мышлению, что несовместимо с моделью общества, ориентированной на пассивное потребление и внешнее «счастье». Роман предстаёт как предостережение о культурной и антропологической деградации, возможной при отказе от чтения как формы мышления.

В этом контексте книга предстает не столько как физический объект, сколько как форма умственной деятельности и способ конституирования сознания. Чтение требует времени, сосредоточенности и внутренней работы. Именно последовательность, линейность текста способствует развитию логических связей, критического анализа и способности к глубинному осмыслению. Эта характеристика противопоставляется современной цифровой культуре, в которой гипертекст создаёт иллюзию свободы выбора, но при этом разрушает целостность восприятия и приводит к фрагментарному мышлению. Умберто Эко, анализируя структуру книги, подчёркивает её значение как когнитивного инструмента, формирующего способность к сосредоточенному размышлению [1]. Аналогичную мысль развивает Маршалл Маклюэн, утверждая, что изобретение печатной книги способствовало формированию линейного, абстрактного и последовательного типа мышления, который стал основой западной рациональности [2].

Брэдбери художественно иллюстрирует этот переход через образ главного героя – Гая Монтэга, который пробуждается от интеллектуального оцепенения благодаря случайной встрече с книгой. Его личностная трансформация раскрывает ту роль, которую книга может играть в формировании критического сознания и восстановлении внутренней автономии. Вопросы, которые он начинает задавать, становятся формой сопротивления установленной системе. Книга в этом контексте выступает не только источником знаний, но и символом свободы – прежде всего, свободы мысли.

Современные способы восприятия информации всё чаще характеризуются поверхностностью и фрагментарностью. Вместо традиционного вдумчивого чтения всё большее распространение получает так называемое «сканирующее» поведение: внимание сосредоточивается на заголовках, отдельных фрагментах и кратких пересказах. Такая модель восприятия во многом связана с особенностями гипертекстуальной структуры цифровых медиа, которая стимулирует нелинейное перемещение по тексту и поощряет быстрое переключение между разрозненными информационными блоками. В результате углублённое осмысление содержания становится затруднённым, а мышление — менее связным и последовательным.

Сходную модель медиапотребления демонстрирует и общество, изображённое Брэдбери. Телевизионные стены, транслирующие непрерывный поток визуальных образов, формируют среду, в которой вытесняются личные переживания, осмысленные воспоминания и эмоциональное сопереживание. В условиях отказа от чтения как осознанной практики взаимодействия с текстом снижается способность к критическому мышлению и рефлексии. Образ мира упрощается и теряет глубину, подменяясь фрагментарной и легко усваиваемой симуляцией реальности.

В этой ситуации книга приобретает особый символический статус — как форма сохранения памяти и идентичности. Брэдбери подчёркивает это в финале романа, где герои становятся «живыми книгами», запоминая и передавая тексты устно. Один из них говорит: «Ну вот, я – это «Республика» Платона.» [3]. Эта метафора подчёркивает, что книга может продолжать существовать не только в материальной форме, но и как элемент личной и культурной идентичности. Это решение отражает

глубокое понимание книги как средства культурного преемства и носителя нравственных и исторических ориентиров. Именно в книге концентрируется голос человечества, его память и совесть.

Однако в современной реальности опасность утраты книги проявляется не в её физическом уничтожении, а в потере интереса к ней как к значимой культурной практике. Как отмечал сам Брэдбери, угрозой является не огонь, а безразличие. Сегодня, несмотря на доступность книг в разных форматах, их реальное присутствие в интеллектуальной жизни общества снижается. Человек, читающий книгу, всё чаще воспринимается как аномалия в мире, ориентированном на скорость, эффективность и визуальные стимулы.

Возникает принципиальный вопрос: имеет ли книга будущее в обществе, ориентированном на краткость, удобство и быструю смену содержания? Иначе говоря, не исчезнет ли не столько книга как объект, сколько сам тип мышления, который она предполагает — медленный, последовательный, сосредоточенный. Именно это делает поставленные Брэдбери вопросы особенно значимыми в сегодняшнем контексте.

Книга как культурный феномен не исчезает, но претерпевает трансформации, связанные с изменением носителей и форматов.

Электронные издания, аудиокниги, интерактивные и гипертекстуальные формы представляют собой новые способы существования текста. Однако ключевым остаётся не материальный носитель, а характер взаимодействия между читателем и текстом. Если сохраняется способность к сосредоточенному, вдумчивому чтению, к осмыслению и интерпретации — значит, книга как феномен продолжает своё существование и выполнение культурной функции.

В этом контексте роман Брэдбери «451 по Фаренгейту» следует рассматривать не как прогноз, а как размышление о настоящем. Он показывает, что книга – это не просто объект культуры, а часть внутреннего мира человека. Её исчезновение означает не только утрату письменности, но и ослабление способности к критическому мышлению, к сомнению и чувствованию. Утрата книги — это, прежде всего, утрата интеллектуального и эмоционального измерения человеческой жизни.

В романе акт чтения приобретает форму сопротивления доминирующему порядку. Каждый, кто сохраняет книги, подвергается риску, а персонажи, запоминающие тексты, становятся живыми носителями культурной памяти. Их функция сопоставима с ролью переписчиков в эпоху Средневековья, сохранявших знания в условиях отсутствия массового книгоиздания. Таким образом, чтение предстает не как нейтральная практика, а как форма культурного и гражданского выбора.

В условиях цифрового гипертекста вопрос о чтении приобретает особую значимость. Именно через чтение человек способен сохранять автономию мышления, критическую дистанцию и способность к смысловому восприятию мира. Это делает задачу сохранения культуры чтения особенно актуальной, поскольку она напрямую связана с сохранением способности к свободе – интеллектуальной и нравственной.

Идеи, выраженные Брэдбери, позволяют сделать вывод, что книга не исчезнет, пока сохраняется потребность в смысловом взаимодействии с текстом. Форма книги может быть разной – от печатного тома до мультимедийной платформы, – но её сущностной задачей остаётся порождение вопросов, развитие мышления и вовлечение в диалог. Уничтожение книги в таком понимании – это не физическое исчезновение, а утрата самого способа мышления как процесса.

Книга в XXI веке продолжает существовать – но уже не как привычный объект, а как форма сопротивления. На фоне того, как логика развития социальных сетей ведёт от чтения к просмотру, от осмысления к потреблению, чтение приобретает характер осознанного выбора и усилия, противостоящего потоку [4]. В цифровом мире, где информация всё чаще отбирается не нами, а алгоритмами, формирующими привычки, вкусы и даже мнения, именно акт чтения становится утверждением субъективности – выбором думать, а не подчиняться готовым смыслам.

Чтение – это достаточно затратная практика, которая, однако, формирует то, что невозможно алгоритмизировать: совесть, память, способность к интерпретации. Брэдбери показывает, что книга – это форма жизни, которая требует усилия, но только благодаря этому внутреннему труду возможно удержать человечность в мире, подверженном упрощению. Читатель, способный сохранить книгу, – это не просто технически подкованный пользователь, а человек, обладающий критическим мышлением и готовностью к интеллектуальной ответственности. Чтение требует не потребления, а участия и усилия.

Будущее книги – это не вопрос технологии, формата или носителя. Это вопрос того, останется ли в человеке потребность понимать, а не просто знать; задавать вопросы, а не только получать ответы. И в этом смысле книга будет жить, пока жив человек, который не боится читать.

Список использованных источников:

1. Эко У. От Интернета к Гутенбергу: текст и гипертекст [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://kdu.ru/node/730 (дата обращения: 14.04.2025).

2. Маклюэн, М. Галактика Гутенберга : становление человека печатающего / М. Маклюэн.: Академический Проект, 2018. – 448 с. – Режим доступа : https://www.iprbookshop.ru/101675.html (дата обращения: 14.04.2025).

3. Брэдбери, Р. 451° по Фаренгейту / Р. Брэдбери ; пер. с англ. В. Вебера. — М. : АСТ, 2021. — 256 с.

4. Шалимов, А. Б. Динамика развития социальных медиа (2000-2020-е гг.) / А. Б. Шалимов // Дискурс современных масс-медиа в перспективе теории, социальной практики и образования : Сборник трудов международной научно-практической конференции, Белгород, 07–09 октября 2024 года. – Белгород: ООО «Космос», 2024. – С. 82-88. – EDN CUROQL.

ФИЛОСОФСКИЕ АСПЕКТЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ

Ивашевич Д.С., Перко А.О.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Мащитько С.М.– к. ф. н., доцент

В условиях цифровизации информационная безопасность выходит за рамки технической защиты данных, охватывая вопросы манипуляции сознанием, приватности и алгоритмического контроля. В работе анализируются последствия персонализации интернет-контента, описанные Эли Паризером, и раскрывается, как фильтрация информации ограничивает когнитивную свободу, подрывает демократические институты и усиливает социальную сегрегацию. Рассматриваются риски коммерциализации личных данных и неравномерного доступа к объективной информации. Делается вывод о необходимости законодательного регулирования, повышения цифровой грамотности и развития прозрачных платформ, ориентированных на интересы пользователя.

В цифровую эпоху, когда каждый клик оставляет след, информационная безопасность становится не столько техническим, сколько социальным, культурным и политическим вызовом. Речь идёт не просто о защите данных от взлома, а о сохранении автономии, прозрачности и возможности принимать решения, опираясь на достоверную и не искажённую информацию. Книга Эли Паризера «За стеной фильтров» даёт ключ к пониманию, как персонализация Интернета изменила саму суть доступа к знаниям и, следовательно, стала угрозой информационной безопасности в широком смысле.

Цифровизация сопровождается повсеместным внедрением алгоритмов, которые сортируют, фильтруют и выдают информацию на основе предпочтений пользователей. Они адаптируют новостные ленты, поисковую выдачу, рекомендации в социальных сетях и интернет-магазинах. Сначала это воспринималось как полезное нововведение, способное упростить навигацию в мире избытка данных. Но, как показывает Паризер, это «улучшение» быстро превратилось в инструмент сегрегации: пользователь видит только то, что, по мнению алгоритма, его заинтересует. Это исключает случайность, снижает разнообразие информации, делает нас уязвимыми перед манипуляциями и ограничивает способность к критическому мышлению.

Эта замкнутая система формирует у каждого свою версию мира. В результате каждый пользователь оказывается в собственном информационном пузыре — «стене фильтров», как её называет Паризер. Она невидима, создаётся без нашего участия, и, что особенно важно, непроверяема. Мы не знаем, на каких основаниях фильтруется контент. Это делает невозможным оценку достоверности и объективности получаемой информации. Более того, человек может даже не осознавать, что его информационное поле целенаправленно ограничено.

Возникает парадокс: технологии, которые должны были усилить наше понимание мира, стали инструментом его фрагментации. Демократия основывается на способности общества вести диалог и принимать решения на основе общих фактов. Но когда факты у каждого свои — общая повестка исчезает. В таком обществе легко распространяются фейки, заговоры, популизм и цифровой экстремизм. Информационная безопасность в этом контексте — это уже не просто защита от внешних угроз, а способность сохранить общественное сознание целостным и устойчивым.

Ещё один важный аспект, описанный Паризером, — это коммерциализация личных данных. Алгоритмы не просто анализируют, они монетизируют поведение пользователя. Всё, что мы делаем в сети — что читаем, смотрим, покупаем — превращается в товар. Эти данные собираются, продаются, перепродаются, используются в рекламе и прогнозировании поведения. Мы — не клиенты, а продукт. Как пишет Паризер, если вы не платите за сервис, вы — товар. Это делает нас уязвимыми для злоупотреблений: страховые компании могут использовать цифровой профиль при расчёте тарифов, банки — при принятии решений о кредитах, работодатели — при найме.

При этом пользователь практически не имеет инструментов контроля. Большинство соглашений о сборе данных формулируются так, что их невозможно прочитать и понять без юридического образования. Даже если вы не даёте согласие напрямую, трекеры и куки всё равно продолжают отслеживать вашу активность. Более того, данные могут храниться на серверах в других странах, и у пользователя нет возможности узнать, кто именно и с какой целью получил к ним доступ. Это ставит под сомнение не только безопасность данных, но и саму возможность управления своей цифровой идентичностью.

Важно отметить и образовательный аспект проблемы. Большинство пользователей не понимают, как работают алгоритмы и каким образом формируется их информационное окружение. Отсюда — доверие к непроверенным источникам, восприятие информации как нейтральной и объективной, хотя она может быть результатом коммерческой фильтрации. Цифровая грамотность, как часть информационной безопасности, должна стать обязательной частью школьного и университетского образования. Человек XXI века должен уметь не только пользоваться технологиями, но и понимать механизмы, стоящие за ними.

Проблема персонализированных фильтров не ограничивается одной страной. Это глобальное явление. В разных государствах — от США до Китая — наблюдается стремление использовать алгоритмы не только для бизнеса, но и для политического контроля. В одном случае это манипуляция предпочтениями избирателей, в другом — социальный рейтинг, в третьем — цензура под видом модерации. Алгоритмы становятся частью государственной власти — неформальной, но крайне влиятельной. Это создаёт новую форму управления — алгоритмическое управление, в котором решения принимаются автоматически, без обратной связи и возможности апелляции.

Для преодоления этих рисков нужны системные меры. Прежде всего — прозрачность алгоритмов. Пользователь должен знать, по каким критериям фильтруется контент и иметь возможность отключить или настроить эти фильтры. Далее — юридическая защита персональных данных. Законодательство должно запрещать дискриминацию на основе цифрового профиля, требовать согласия на сбор и обработку данных, обеспечивать возможность их удаления. В этом направлении уже работают такие инициативы, как Общий регламент по защите данных (GDPR) в ЕС, но этого недостаточно. Нужны международные нормы, регулирующие оборот данных вне зависимости от юрисдикции.

Также важно развитие альтернативных платформ, где пользователь получает контроль над своими данными. Это может быть децентрализованная социальная сеть, браузер с открытым кодом, независимая поисковая система. Такие проекты уже существуют, но они нуждаются в поддержке — как со стороны государства, так и со стороны гражданского общества. Если пользователь не осознаёт угрозу — он не будет её избегать. Если государство не заинтересовано в прозрачности — оно будет использовать алгоритмы в своих интересах. Только совместными усилиями можно создать цифровую среду, в которой безопасность означает не только защиту информации, но и защиту человека как субъекта.

Цифровизация не только меняет способы потребления информации, но и формирует новые основания для самовосприятия личности. В условиях постоянного наблюдения и алгоритмической оценки человек всё чаще оказывается в роли не субъекта, а объекта — набора данных, поведенческой модели, шаблона предпочтений. Это незаметно, но глубоко влияет на самоощущение: границы между внутренним и внешним размываются, а индивидуальность всё чаще описывается с помощью статистических вероятностей.

Как подчёркивает Паризер, персонализированные алгоритмы не только подстраиваются под пользователя, но и формируют его желания и решения. Когда информационная среда отражает не то, кем человек является, а то, кем он был, она лишает его возможности меняться. В такой среде свобода превращается в иллюзию — пользователь ощущает выбор, но этот выбор заранее предсказан и ограничен системой. Это подрывает базовую способность личности к росту, саморефлексии и выходу за пределы знакомого.

Кроме того, постоянное пребывание в комфортной, отфильтрованной среде снижает уровень психологической устойчивости. Исследования показывают, что изоляция от сложных, неприятных или конфликтных тем приводит к снижению способности справляться со стрессом и к когнитивной ригидности. Психика привыкает к тому, что её подтверждают, не проверяют. Человек перестаёт сталкиваться с разными взглядами, с иным, с новым — а это критически важно для формирования зрелой, автономной личности.

Таким образом, персонализация информации угрожает не только коллективной структуре общества, но и внутренней целостности индивида. В условиях цифровой среды становится особенно важно защищать не только данные, но и свободу быть собой — со всеми противоречиями, развитием, переменами и непредсказуемыми поворотами.Информационная безопасность в условиях цифровизации — это вызов не только технологам, но и философам, юристам, педагогам, политикам. Это вызов всему обществу. Мы сталкиваемся не просто с новой средой, а с новой логикой реальности, в которой истина становится персонализированной, выбор — алгоритмически предопределённым, а свобода — условной. Чтобы сохранить возможность быть информированным, сознательным и свободным, мы должны изменить правила игры. Сделать алгоритмы видимыми. Сделать сбор данных добровольным. Сделать информационную среду честной.

Цифровая эпоха не обязана быть эпохой манипуляций. Она может быть эпохой просвещения, если мы сохраним право знать, выбирать и сомневаться. В противном случае — нас ждёт цифровой детерминизм, в котором будущее каждого будет написано на основе его прошлых кликов. А свобода — сужена до экрана, показывающего только то, что нам уже известно.

Список использованных источников:

1. Паризер Э. За стеной фильтров: Что Интернет скрывает от вас / Эли Паризер ; пер. с англ. – М.: Альпина нон-фикшн, 2012. – 288 с.

2. Зубофф Ш. Эпоха капитализма наблюдения: борьба за будущее человечества на новой границе власти / Шошана Зубофф. – М.: Альпина Паблишер, 2020. – 832 с.

3. Ниссенбаум Х. Конфиденциальность в контексте: технологии, политика и целостность социальной жизни / Хелен Ниссенбаум. – Стэнфорд: Stanford University Press, 2010. – 304 с.

4. Шнайер Б. Данные и Голиаф: скрытая борьба за ваши данные и контроль над вашей жизнью / Брюс Шнайер. – Нью-Йорк: W. W. Norton & Company, 2015. – 384 с.

УДК 128

ФИЛОСОФСКОЕ ОСМЫСЛЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ СМЕРТНОЙ КАЗНИ

Концевая В.Д., Толстенков И.А., Трубеко В.В., студенты гр. 314301

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Миськевич В.И. – канд. фил. наук, доцент

Аннотация. Смертная казнь – это лишение человека жизни в качестве наказания, узаконенного государством и осуществляемого по вступившему в силу приговору суда или (исторически) по решению иных государственных или военных органов.

Ключевые слова. Смертная казнь, человеческая жизнь, справедливость, наказание, право, этика.

Ценность человеческой жизни всегда была в центре философских размышлений. Жизнь рассматривается как уникальное и неповторимое явление, обладающее высокой ценностью. Это осознание подчеркивает важность уважения к жизни и ответственности за свои действия.

Жизнь и смерть – два взаимосвязанных аспекта человеческого существования, подобно Инь и Ян. Каждое существует в контексте другого, и смерть может наступать как естественным образом, так и в результате насилия, включая наказание за совершенные преступления. В этом контексте смертная казнь становится важной темой для обсуждения, вызывая споры о справедливости, моральных аспектах и роли государства в осуществлении наказания.

В современном обществе смертная казнь остаётся одной из самых острых и дискуссионных тем. Её актуальность обусловлена не только юридическими и этическими аспектами, но и глубокими философскими вопросами о природе справедливости, ценности человеческой жизни и роли государства в наказании преступников. Смерть, как биологическое явление, представляет собой прекращение жизнедеятельности организма, но в контексте смертной казни она приобретает иное значение – становится инструментом правосудия. Вопрос о допустимости такого наказания вызывает споры среди юристов, философов, политиков и простых граждан, что делает его важным предметом для обсуждения.

Смертная казнь – это лишение человека жизни в качестве наказания, узаконенного государством и осуществляемого по вступившему в силу приговору суда или (исторически) по решению иных государственных или военных органов.

В письменных источниках возникновение смертной казни можно увидеть в форме талиона – древнего обычая, который регулировал взаимоотношения между кровнородственными объединениями на основе принципа равного воздаяния. Когда за обиду, в том числе и за смерть одного человека, мстили тем же другому. Все это в итоге историки назвали обычаем кровной мести. Но про смертную казнь, как вид наказания, говорить еще рано, поскольку стабильного государства с судебным аппаратом еще не существовало, и роль судьи принимали на себя частное лицо либо же целая община.

Возникновение смертной казни как правовой формы наказания происходит с конституированием государства, соответствующих органов дознания и исполнения судебных решений. Правосудие стало твориться от имени закона (как это зафиксировано в Кодексе Хаммурапи, который был создан около 1754 года до нашей эры в Древнем Вавилоне). Кодекс содержал 282 статьи, регулирующие широкий спектр правовых норм и устанавливающие смертную казнь за тяжкие уголовные преступления, такие как убийство, кража и прелюбодеяние.

Кодекс Хаммурапи положил начало формализации правосудия, вводя принцип «око за око, зуб за зуб», что означало, что наказание должно быть соразмерно тяжести преступления. Это обеспечивало некоторую защиту граждан от произвола властей, поскольку наказания стали предсказуемыми и основанными на четких законах.

Однако до возникновения правового государства никто не был защищен от произвола и своеволия властей, в том числе и от неправового наказания посредством смертной казни. В условиях отсутствия формализованной правовой системы многие люди могли стать жертвами произвольных решений и жестоких репрессий, что подчеркивает важность развития правовых норм и защитных механизмов для граждан.

Этот исторический контекст раскрывает не только механизмы наказания, но и философские вопросы, связанные со справедливостью. В своих трудах Иммануил Кант развивал теорию наказания, согласно которой уголовное наказание – это справедливая кара за преступление, причинение государством определенного страдания преступнику за содеянное им зло. Наказание, по Канту, является требованием категорического императива и не нуждается в дополнительных утилитарных соображениях. Преступник должен быть признан подлежащим наказанию до того, как возникает мысль о том, что из этого наказания можно извлечь пользу для него самого или для общества в целом. И.Кант поднимает вопрос, может ли справедливость иметь себе цену, либо какую-нибудь возможность торга

с правосудием. Задает вопрос мыслитель, как же следует расценивать следующее предложение: «Сохранить жизнь осужденному на смерть преступнику, если он даст согласие подвергнуть себя опасным опытам (причем все это закончится для него благополучно), с тем чтобы врачи могли таким образом получить новые полезные для общества научные сведения»? [1, с. 367] По мнению мыслителя, суд с презрением отклонил бы подобное предложение медицинской коллегии, ибо справедливость перестает быть таковой, если она продает себя за какую-то цену. Согласно мнению философа, убийство является тем преступлением, которое должно караться только смертной казнью.

Мыслитель подчеркивает, что даже в случае исчезновения гражданского общества, справедливость категорически требует смертной казни последнего убийцы. Исключение из данного правила делается И. Кантом лишь в двух случаях – при совершении убийства на дуэли и при убийстве матерью новорожденного внебрачного ребенка.

Философ обосновывает свои исключения тем, что в обоих этих случаях преступления обусловлены чувством чести. Первое из них – убийство матерью своего ребенка – связано с социальным позором, который невозможно смыть, а второе – убийство товарища по оружию, возникающее в контексте дуэли, отражает воинскую честь. Кант утверждает, что законодательство не может снять этот позор, и поэтому, несмотря на тяжесть этих деяний, высшая власть не вправе карать их смертью.

Далее в своем творчестве И. Кант рассматривает и своеобразные психологические аспекты проблемы наказания, заявляя, в частности, о том, что Человек подвергается наказанию не потому, что он захотел этого, а потому, что он захотел совершить наказуемый поступок; какое же это наказание, если с ним случается то, чего он сам хотел, да и вообще невозможно хотеть быть наказанным. Сказать: я хочу быть наказанным, когда кого-нибудь убью, означает не что иное, как: я вместе со всеми прочими подчиняюсь законам, которые естественным образом становятся карающими, если в составе народа имеются преступники. [1, с. 370-371] Представляется, однако, что в современном обществе нельзя согласиться с доводами И. Канта в пользу допустимости смертной казни также и за иные (например, государственные) преступления, поскольку такое допущение явно нарушает принцип права, который требует равенства между преступлением как нарушением права и наказанием как восстановлением нарушенного права. [2]

Относительно смертной казни, напрашивается вывод о том, что с точки зрения справедливости и законности, она может быть эквивалентна только одному преступлению – умышленному убийству. Ибо убийство – это абсолютное преступление, поскольку оно уничтожает такую абсолютную и высшую ценность, как человеческую жизнь. Сама жизнь, как уникальная ценность, не имеет другой равноценной замены, а потому, согласно выводам мыслителя, одной жизни по принципу формального равенства эквивалентна лишь другая жизнь. Например, академик В.С. Нерсесянц, в целом оправдывающий необходимость наличия и применения смертной казни в качестве исключительной меры наказания, указывает на то, что «Когда же смертной казнью наказываются другие преступления, не сопровождаемые квалифицированным умышленным убийством, мы имеем дело не просто с суровостью или жестокостью наказания, а с его явной неправомерностью, противоправностью». [3, с. 373]

Смертная казнь существовала во всех странах на протяжении почти всей истории. Однако постепенно в законодательствах многих стран стала развиваться тенденция к сокращению видов преступлений, за которые назначалась смертная казнь. В 19-20 вв. эта тенденция привела сначала к тому, что основным, а кое-где и единственным видом преступления, караемого смертной казнью, стало умышленное убийство, а затем и к полной отмене во многих странах смертной казни за общеуголовные преступления.

Наконец, есть одно обстоятельство, которого вполне достаточно для отмены смертной казни. Это возможные и даже неизбежные (практика знает такие случаи) ошибки при вынесении смертного приговора, ценой которых становятся жизни невинных людей. Ошибки неизбежны даже при нормированном судопроизводстве, в условиях же чрезвычайных трибуналов и комиссий их вероятность многократно возрастает.

Помимо этих, во многом прагматичных доводов, противники смертной казни нередко выдвигают и чисто моральный – о неприкосновенности человеческой жизни (ненасилие). Никто, в т.ч. государство, не вправе посягать на жизнь человека, даже если это жизнь убийцы. В основе необходимого справедливого возмездия не должен лежать принцип равного воздаяния (талион), характерного для первобытных обществ. Государство не может хоть в какой-то мере уподобляться убийце, отвечая ему его же действиями.

Не гуманен не только факт, но и процедура смертной казни – планомерный и хладнокровный процесс умерщвления человека. Есть данные, согласно которым большинство людей, которые бывали свидетелями смертной казни, стали относиться к ней отрицательно, и, наоборот, сторонники смертной казни, как правило, на ее не видели. Немаловажно и то обстоятельство, что хотя ответственность за применение смертной казни лежит на государстве, исполняет приговор конкретный человек, который по указанию и при поддержке государства занимается умерщвлением людей.

Поскольку преступник должен быть все-таки наказан, в качестве альтернативы смертной казни чаще всего предлагается такая мера наказания, как пожизненное заключение, которое может оказаться

не менее, а даже более суровой мерой. Известны случаи, когда преступники предпочитали смертную казнь пожизненному заключению.

Одной из причин сохранения во многих странах смертной казни является общественное мнение – большинство населения разных стран, по данным социологических опросов, высказывается, как правило, против ее отмены. Пока смертная казнь не отменена во всех странах, ООН от имени мирового сообщества предлагает соблюдать определенные ограничения по ее применению. Эти ограничения сводятся к следующему: 1) смертная казнь является исключительной мерой наказания, и перечень самых тяжких преступлений, наказуемых смертью, «не должен выходить за пределы умышленных преступлений со смертельным исходом или иными исключительно тяжкими последствиями»; 2) к смертной казни не могут быть приговорены лица моложе 18 и старше 70 лет; 3) смертный приговор не должен приводиться в исполнение в отношении беременных женщин и матерей, имеющих грудных детей; 4) поскольку именно в делах, связанных со смертным приговором, чаще всего нарушаются права обвиняемых, ООН особое внимание обращает на необходимость строгого соблюдения права обвиняемого на защиту, на открытое слушание дела, на апелляцию, на прошение о помиловании и т.д.

Республика Беларусь остаётся одной из немногих стран Европы, где смертная казнь сохраняется как мера наказания. Она предусмотрена за особо тяжкие преступления, такие как умышленное убийство при отягчающих обстоятельствах, терроризм и преступления против государства. Применение смертной казни в Беларуси вызывает критику со стороны международных организаций, таких как ООН и Совет Европы, которые призывают к её отмене.

На основании изложенного, можно сделать следующие выводы.

Смертная казнь за преднамеренное убийство и другие серьезные преступления представляет собой выражение силы закона и принципа равной ответственности. Этот вид наказания служит отражением основного правового запрета – запрета на лишение жизни другого человека.

Отмена смертной казни за умышленное убийство не является просто заменой одной меры наказания на другую. Это шаг к отказу от одного из ключевых принципов права и равной ответственности в важнейшей области правового регулирования. Если возможно игнорировать принцип правового равенства в этом критически важном вопросе, то возникает вопрос: почему его следует соблюдать в других случаях?

Несмотря на настойчивую позицию сторонников полного запрета смертной казни, у них нет убедительных аргументов, соответствующих требованиям и логике права. Например, их утверждение о безусловной ценности человеческой жизни фактически служит доводом в пользу смертной казни как меры наказания за умышленное убийство.

Смертная казнь остаётся сложным и противоречивым явлением, которое затрагивает как правовые, так и моральные аспекты общества. С одной стороны, она воспринимается как справедливое возмездие за тяжкие преступления, с другой – вызывает вопросы о гуманности и эффективности.

Список использованных источников:

1. Кант, И. Метафизика нравов. Сочинения. В 8-ми т. Т. 6 / И. Кант. — Москва : Изд-во «ЧОРО», 1994. – 613 с.

2. Допустимость смертной казни по И.Канту [Электронный ресурс] – Режим доступа : https://e-koncept.ru/2013/53334.htm. – Дата доступа: 04.03.2025.

3. Нерсесянц, В.С. Философия права / В.С. Нерсесянц. – Москва : НОРМА, 2005. – 656 с.

UDC 128

PHILOSOPHICAL UNDERSTANDING OF THE DEATH PENALTY PROBLEM

Kontsavaya V.D., Tolstenkov I.A., Trubeko V.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Miskevich V.I. – PhD in Philosophy, Associate Professor

Annotation. The death penalty is the deprivation of a person's life as a punishment legalized by the State and carried out by a court verdict that has entered into force or (historically) by decision of other state or military authorities.

Keywords. Death penalty, human life, justice, punishment, law, ethics.

СЕКЦИЯ 7
«ЭЛЕКТРОННЫЕ ВЫЧЕСЛИТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА»

ПОДСИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ОТОПЛЕНИЕМ УМНОГО ДОМА

Колосков И.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Качинский М.В. – канд. техн. наук

Подсистема управления отоплением умного дома позволяет мониторить текущую температуру и влажность в выбранных комнатах, а также поддерживать комфортные параметры микроклимата под определенного пользователя. Так же предусмотрена возможность подключения увлажнителя воздуха и кондиционера с функцией осушения. Данное устройство простое в применении и позволяет оптимизировать и автоматизировать важные аспекты в жизни человека [1].

Устройство обеспечивает измерение и отображение следующих параметров:

- настройки по умолчанию;
- текущая температура в выбранной комнате;
- текущая влажность в выбранной комнате;
- наличие кондиционера с функцией осушения;
- наличие увлажнителя воздуха;
- возможность выбора комфортной температуры и влажности.

Структурная схема устройства представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Структурная схема контроллера отопительной системы

Устройство реализовано на базе микроконтроллера ATmega328 [2]. Считывание данных о температуре и влажности происходит при помощи датчиков DHT22. Их количество зависит от количества комнат. Кнопка B_SET отвечает за настройку системы, кнопка B_ROOM отвечает за выбор комнаты, кнопка B_PARAM переключает параметры (температура, влажность, наличие увлажнителя/кондиционера). Кнопки B_PLUS и B_MINUS отвечают за уменьшенение или увеличение комфортной температуры/влажности в выбранной комнате, а так же служат для указания наличия или отсутствия кондиционера/увлажнителя воздуха. Кнопка B_RESET сбрасывает все настройки на значение по умолчанию. Для отображения информации использован LCD дисплей 1602 [3].

При запуске устройства на экране появится текущая температура и влажность первой комнаты (номер комнаты зависит от того, какой датчик подключен). При нажатии на кнопку B_ROOM переключится следующая комната (номер так же зависит от номера датчика).

Далее при нажатии кнопки B_SET произойдет переход в настройки первой выбранной комнаты и если после нажатия кнопки B_SET нажать кнопку B_ROOM, то произойдет переход в настройки следующей комнаты. Указанная температура является комфортной для выбранной комнаты, ее может изменить пользователь вручную или оставить значение по умолчанию.

Далее если нажата кнопка B_PARAM, то переключится параметр для настройки. Например, это может быть указание о наличии кондиционера. Если нажата кнопка B_PLUS или B_MINUS – это увеличит или уменьшит текущий параметр на 1, если выбран параметр наличие кондиционера/увлажнителя, то нажатие кнопки + будет означать о том, что устройство присутствует, если нажать кнопку -, то устройство отсутствует в данной комнате.

Выполнено моделирование подсистемы в программе Proteus. На рисунке 2 представлены примеры настройки параметров подсистемы.

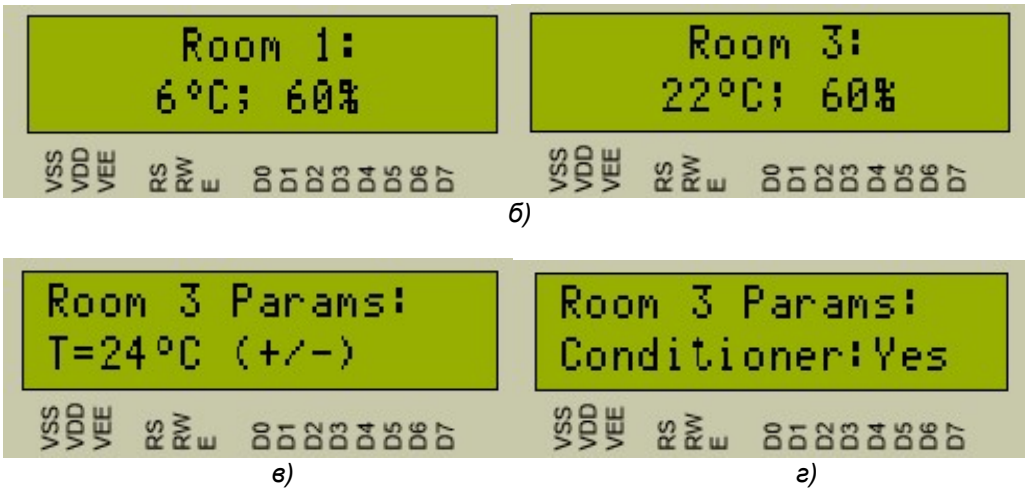


Рисунок 2 – Демонстрация настройки параметров подсистемы: а) данные первой комнаты; б) переключение комнат; в) настройка комфортных параметров; г) наличие кондиционера

Так же изменение любых параметров напрямую влияет на включение/выключение определенных светодиодов, а также включении/выключение сервоприводов, которые в симуляции заменяют реальное оборудование теплого пола, кондиционера и увлажнителя.

Список использованных источников:

[1] НАУКА БГУИР [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://science.bsuir.by/ru/o-nas.

[2] Вектор [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.vectorltd.ru/articles/kak-razrabotat-pechatnuyu-platu-osobennosti-i-nyuansy.html.

[3] АЛМАЗ-СП [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://almaz-sp.su/pechatnye-platy/klassy-tochnosti-pechatnyh-plat/.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ КОЛЬЦЕВЫХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ

Трубач К.И., Романовский М.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Иванюк А.А. – доктор технических наук, профессор

Исследуется влияние температуры на кольцевые осцилляторы (КО) на FPGA Zync-7010. Эксперименты подтверждают обратную зависимость между температурой и частотой КО. Модель зависимости — линейная функция с коэффициентом -301.0, подтверждающая чувствительность КО к температуре.

Кольцевые осцилляторы (КО) применяются множеством способов (в качестве частей схем генерации случайных чисел, генераторов прямоугольных импульсов на системах без встроенного кварцевого генератора и др.) и обладают набором особенностей, к которым часто относят подверженность изменениям окружающей среды: температурным колебаниям или изменениям напряжения питания [1]. В некоторых случаях эти особенности имеют положительный характер (например, повышают качество генерируемых случайных последовательностей), в некоторых являются крайне нежелательными (например, при использовании КО как генератора синхронизирующих сигналов изменение выходной частоты может негативно сказаться на работе триггеров или всей схемы), поэтому часто важно понимать природу таких свойств и уметь их использовать. Целью настоящей работы было определено исследование влияния температурного фактора на поведение КО, а также, как следствие, поиск математических закономерностей этого поведения.

Частота колебаний КО является одной из важнейших его характеристик, поэтому для достижения поставленной цели на плате быстрого прототипирования Zybo Z7 с FPGA Zynq-7010 был разработан дизайн, позволяющий проанализировать поведение нескольких КО на основе количества положительных фронтов, генерируемых ими за некое фиксированное время W. Схема этого дизайна на рисунке 1 для упрощения демонстрирует один КО, но легко расширяется до нужного количества осцилляторов.

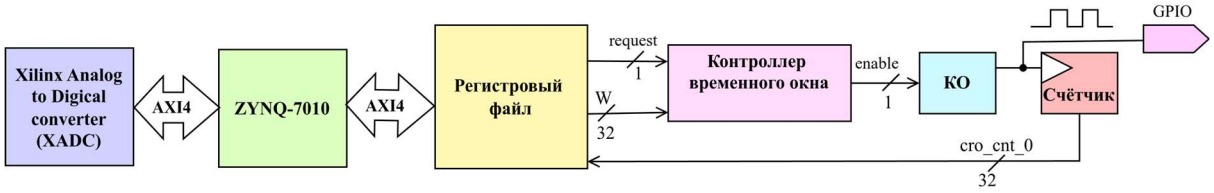


Рисунок 1 – Схема подсчёта количества положительных фронтов нескольких КО

КО, управляется сигналом *enable*. Контроллер временного окна активирует этот сигнал (*enable*=1) по запросу (*request*=1). По истечении *W* тактов, сигнал *enable* сбрасывается (*enable*=0), фиксируя значения счётчиков. Зафиксированные значения считываются через регистровый файл. Дополнительно схема включает IP-блок XADC для мониторинга температуры кристалла FPGA, а также порт GPIO, на который выводится сигнал КО для доступа осциллографа.

Исследование поведения КО с помощью описанной выше схемы проводилось в два этапа. Первый этап представлял собой трёхдневный тест платы в условиях обычной рабочей среды с колебаниями температуры воздуха (из-за присутствия людей и периодического проветривания). Температура воздуха составила 24.5±1.5°C, а температура кристалла варьировалась от +49°C до +54°C. Этот этап позволил оценить поведение схемы в неэкстремальных условиях и определить чувствительность кристалла FPGA к небольшим температурным флуктуациям. На втором этапе плата помещалась в термокамеру для поддержания стабильной температуры в диапазоне от -5°C до +25°C. Это позволило установить зависимость между температурой и оценочной частотой КО. В обоих этапах использовалось значение $W = 10^6$ для минимизации влияния погрешностей на результаты измерений, хотя на практике можно использовать гораздо меньшие значения [2].

Результаты первого этапа представлены на рисунке 2, все значения на графике нормализованы для лучшей визуализации результата. Наблюдается обратная зависимость, как и предсказывает теория: при увеличении температуры максимальная частота работы схемы падает, а следовательно, количество зарегистрированных положительных фронтов КО уменьшается. Стоит отметить, что КО реагировали на относительно малые (до ±0.2°C) изменения температуры кристалла FPGA. Это свойство может быть полезно при использовании предложенной схемы как части некой прикладной системы (цифрового термометра).

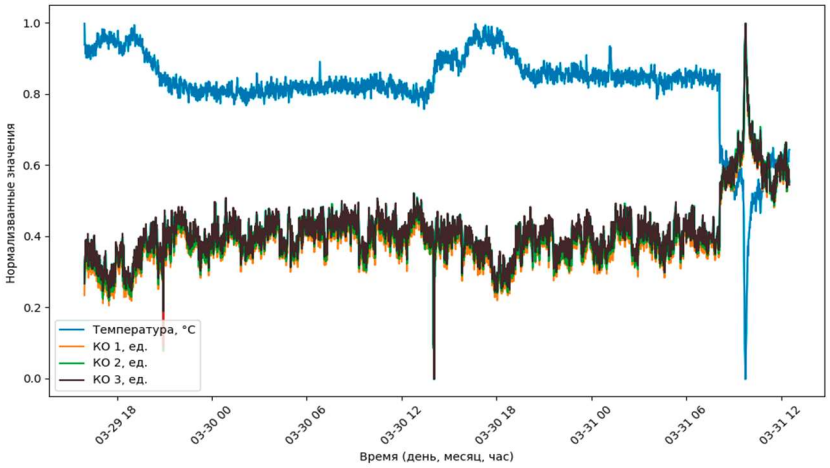


Рисунок 2 – Результат первого этапа оценки влияния температуры на поведение КО

Результаты второго этапа представлены на рисунке 3. Для каждой температурной точки после установления температурного равновесия собирались данные по среднему количеству положительных фронтов нескольких КО (КО 1 состоит из 20-ти LUT6, КО 2 — 40-ка, КО 3 — 80-ти), а также снимались фактические значения периода ещё одного КО (состоит из 20 LUT6) с помощью осциллографа RTB2002. Все КО были построены с использованием разного количества LUT6, однако располагались линейно и рядом. Несмотря на отличия в количестве LUT6 и в полученных значениях количества положительных фронтов, все КО имеют схожую тенденцию (с минимальным различиями, например, на отрицательных температурах, что, вероятно, обусловлено физической неклонируемостью КО [3]). При этом частота КО, измереная осциллографом немного отличается от остальных, что наиболее вероятно объясняется искажением, вносимым GPIO. В итоге этот график подтверждает, что зависимость обусловлена именно чувствительностью КО, а не прочими факторами, такими как температурная деградация кварцевого генератора [4].

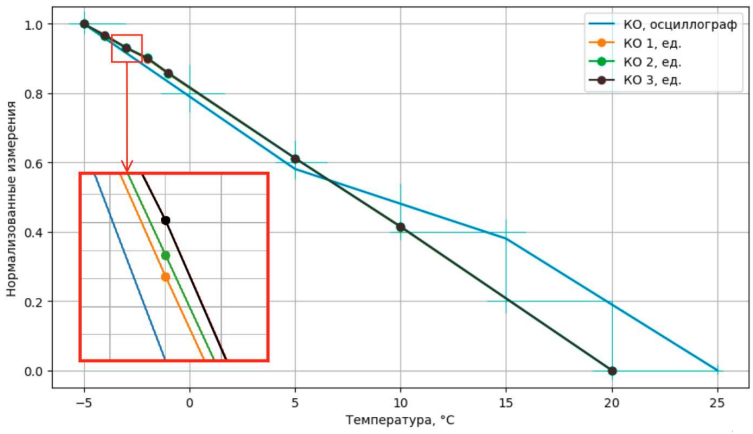


Рисунок 3 – Результат второго этапа оценки влияния температуры на поведение КО

Принимая, что отражённая на графике зависимость сводится к линейной функции вида $y=kx+b$ (y — количество положительных фронтов осциллятора, x — температура в градусах Цельсия, k — изменение количества фронтов за один градус, b — количество фронтов в нуле градусов), можно рассчитать k. Для настоящей работы он составил -301.0. В итоге экспериментально подтверждена обратная зависимость частоты КО от температуры, а полученный коффициент линейной зависимости может быть использован как для прогнозирования поведения КО при некоторых условиях, так и для оценки температуры кристалла во время работы системы. Схема продемонстрировала высокую чувствительность КО к температурным условиям и в перспективе может быть использована в разработке термометров и анализаторов температурной стабильности систем на базе FPGA.

Список использованных источников:

1. Douadi A. et al. A study of high temperature effects on ring oscillator based physical unclonable functions //2023 IEEE 29th International Symposium on On-Line Testing and Robust System Design (IOLTS). – IEEE, 2023. – С. 1-7.

2. Трубач, К. И. Исследование точности измерения периода конфигурируемого кольцевого осциллятора / К. И. Трубач, А. А. Иванюк // Информационные технологии и системы 2024 (ИТС 2024), Минск, 20 ноября 2024 г. / БГУИР ; редкол. : Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск, 2024. – С. 95–96.

3. Иванюк, А. А. Реализация физически неклонируемой функции на LUT-блоках FPGA / А. А. Иванюк, С. С. Заливако // Информационные технологии и системы 2021 (ИТС 2021), Минск, 24 ноября 2021 г. / БГУИР ; редкол.: Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск, 2021. – С. 122–123.

4. Белов Л. Компоненты синтезаторов стабильной частоты – генераторы, управляемые напряжением // Электроника: НТБ. 2004. №1. С. 42-46.

УДК 004.85

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЧИСЛА ПАРАМЕТРОВ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ НА ТОЧНОСТЬ РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Ермакович В.А.[1], студент гр.250701

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники[1]
г. Минск, Республика Беларусь

Вашкевич М.И. – докт. техн. наук, доцент

Аннотация. В работе представлено исследование на тему влияния числа параметров сверточной нейронной сети на точность распознавания изображений. Исследование проводилось на основе архитектуры LeNet-5 с изменением в ней количества карт признаков и числа полносвязных слоев. Представлено в исследовании описание данной архитектуры с использованием планировщика скорости обучения, таблица и график с результатами об обучении модификаций исходной модели.

Ключевые слова. LeNet, СНС, распознавание изображений.

Введение

Сверточные нейронные сети (СНС) – особый тип нейронных сетей, разработанный специально для распознавания изображений в 1988 году Яном Лекуном [1]. Данные нейронные сети основываются на операции свертки и иерархическом извлечении признаков: на первых сверточных слоях выявляются базовые структуры (линии, края), а на последующих слоях могут определятся как шаблоны (текстуры, части объектов), так и целые объекты.

Из-за таких особенностей СНС получили свою популярность в различных сферах: системы контроля качества на производствах, безопасность, системы автопилотов, космос, медицина и др.

Среди наиболее известных архитектур СНС можно отметить:

- LeNet – одна из первых СНС, разработанная для распознавания рукописных цифр. Сеть продемонстрировала эффективность архитектуры с чередованием свёрточных слоев и слоев субдискретизации (англ. *pooling*) – и стала основой для дальнейших исследований в области СНС.
- AlexNet — сеть, победившая в соревновании ImageNet 2012 [2], оказала огромное влияние в развитие компьютерного зрения. Её архитектура схожа с LeNet, но значительно глубже: включает большее количество свёрточных слоёв. Впервые в ней были применены такие современные приёмы, как активационные функции ReLU, дропаут для борьбы с переобучением, аугментация данных для расширения обучающей выборки и субдискритизация (типа max-pooling). Также обучение велось с использованием GPU, что позволило эффективно справляться с большим объёмом данных.
- VGG16 — глубокая сверточная сеть, построенная из последовательных блоков, содержащих свёртки размером 3×3 с единичным шагом и слои субдискритизации [3]. В своей архитектуре содержит 13 сверточных слоев, 5 слоев субдискритизации и 3 полносвязных слоя. Несмотря на большое число параметров, она показывает высокую точность.

Несмотря на высокую точность, глубокие СНС часто имеют миллионы обучаемых параметров, что приводит к долгому обучению, большим вычислительным затратам, сложностям внедрения самих моделей в устройства с ограниченным вычислительным ресурсом. Целью данного исследования было – определить, как изменение числа обучаемых параметров (количество фильтров на сверточных слоях, наличие полносвязных слоев) влияет на точность распознавания, и можно ли достичь сопоставимого качества при меньшем числе параметров.

Архитектура LeNet

В качестве исходной СНС выбрана сесть LeNet-5 [1]. Архитектура LeNet-5 состоит из следующих слоев (рисунок 1):

1) Входной слой – изображение 32 на 32 пикселя.
2) C1 – первый сверточный слой с 6-ю картами признаков, размер каждой составляет 28x28.
3) S2 – первый слой субдискритизации с 6-ю картами признаков, размер каждой крты 14x14.
4) C3 – второй сверточный слой с 16-ю картами признаков, размер 10x10.
5) S4 – второй слой субдискритизации с 16-ю картами признаков, размер каждой карты 5x5.
6) C5 – слой, в котором 120 карт признаков, каждая размеро 1x1, является полносвязнным сверточным слоем, т.е. все узлы S4 слоя соединены с каждым из 120 блоков в слое C5
7) F6 – полносвязный слой с 84 нейронами.
8) Выходной слой имеет 10 нейронов и функцию активации softmax. Каждый нейрон соответствует своему классу распознаваемых изображений.

Отметим, что при исследовании параметры некоторых слоев были изменены, а именно: на вход подавались изображения 28x28, полученные карты признаков были следующего размера, C1 —24x24, S2 — 12x12, C3 — 8x8, S4 — 4x4.

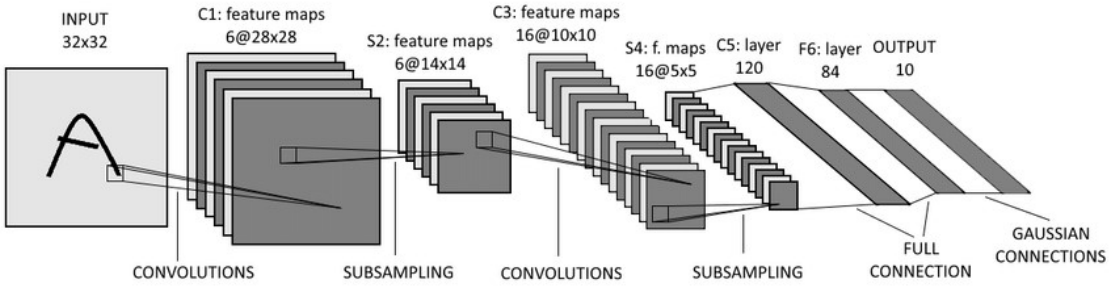


Рисунок 1 – Архитектура сверточной нейронной сети LeNet-5 [1]

Дополнением к этой архитектуре будет является использование слоев дропаута (англ. *dropout* – выбрасывание) после полносвязных слоев. Основная их идея заключается в случайном «выключении» определенного процента нейронов в сети на каждом шаге обучения. Это означает, что во время каждого прохода обучения (или каждой эпохи) случайно выбранный набор нейронов игнорируется (т.е. обнуляется). Это помогает предотвратить чрезмерную зависимость модели от конкретных путей и узлов в сети, что может привести к переобучению.

Задача исследования

Задача в исследовании архитектуры сверточной нейросети LeNet-5 состоит в том, чтобы узнать, как влияет на точность распознавания количество параметров модели. Для этого выполнялась серия экспериментов, в которых изменялось количество карт признаков, которые формируются в сверточных слоях C1 и C3, а также количество полносвязных слоев. В качестве данных будет использована база изображений Fashion-MNIST, которая разбита на обучающую, тестовую и валидационную выборки. Пример изображений из базы Fashion-MNIST показаны на рисунке 2.



Рисунок 2 – Пример изображений из базы Fashion-MNIST

Также для обучения использовался планировщик скорости обучения (*learning rate scheduler*), который плавно снижает скорость обучения и после прохождения определенного количества эпох, сбрасывает скорость обучения до начального значения.

Формула планировщика (косинусное затухание)

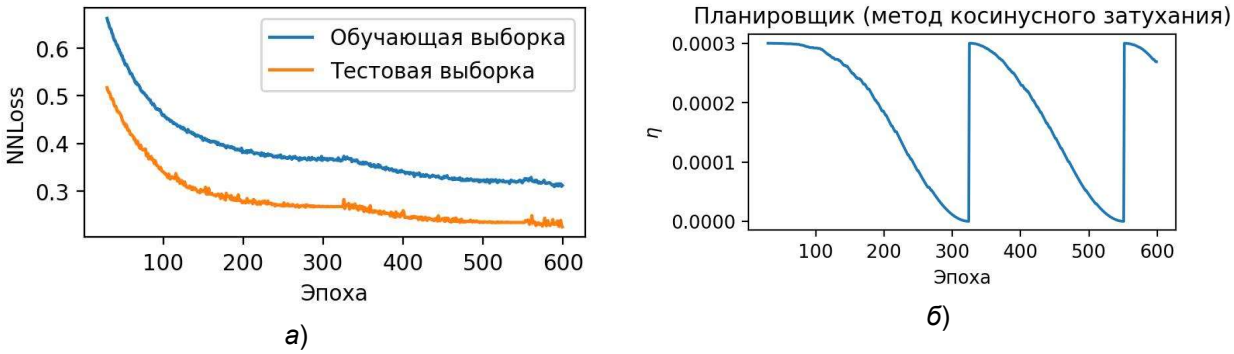
$$\eta_t = \eta_{min} + \frac{1}{2}(\eta_{max} - \eta_{min})(1 + cos\,(\frac{T_{cur}}{T_{max}}\pi)) \quad (1)$$

где η_{min} – минимальная скорость обучения, η_{max} – максимальная скорость, T_{cur} – количество эпох с начала цикла, T_{max} – количество эпох, в течение которых происходит спад косинуса, прежде чем скорость сбросится.

Наличие планировщика позволяет выходить из локальных минимумов функции потерь в процессе обучения.

Основные метрики, на которые будет обращаться внимание в исследовании, это количество параметров в модели и точность ее предсказаний.

В качестве примера на рисунке 3 изображены графики обучения оригинальной архитектуры LeNet5-classic, на которых показаны как изменялась ошибка на валидационной и обучающей выборке и график изменения скорости обучения через косинусное затухание.



а) *б*)

Рисунок 3 – LeNet5-classic: а) график изменения ошибки; б) График изменения скорости обучения

Результаты экспериментов

В исследовании мы выделили 3 группы моделей по 12 штук в каждой. Во всех 3-х группах изменялись сверточные слои (количество карт признаков), но во 2-ой и 3-ей группе были также изменения полносвязных слоев. Во второй группе количество полносвязных равно двум, а в третьей группе — одному. Все сети обучались на 600 эпох, размер минипакета – 1000 изображений, для обучения использовался метод Adam, в качестве функции потерь – перекрестная энтропия, начальная скорость обучения $\eta_{max} = 3 \cdot 10^{-4}$, минимальная скорость обучения $\eta_{min} = 10^{-8}$, параметр планировщика скорости $T_{max} = 200$.

В таблице 1 приведены все результаты обучения полученных моделей.

Таблица 1 – Сравнение различных вариантов СНС LeNet

Номер варианта	Число фильтров в слое C1	Число фильтров в слое C3	fc1	fc2	fc3	Число параметров	Правильность
LeNet5-classic	**6**	16	+	+	+	**44 426**	**89,92%**
LeNet5-v1	3					43 148	88,96 %
LeNet5-v2	2					42 722	89,58 %
LeNet5-v3	6	8	+	+	+	27 858	89,63 %
LeNet5-v4	3					27 180	89,63 %
LeNet5-v5	2					26 954	88,98%
LeNet5-v6	**6**	4	+	+	+	**19 574**	**89,61%**
LeNet5-v7	3					19 196	88.37%
LeNet5-v8	2					19 070	88.02%
LeNet5-v9	6	2	+	+	+	15 432	86.56%
LeNet5-v10	3					15 204	86.23%
LeNet5-v11	2					15 128	85.72%
LeNet5-f1-f2-1	6	16	+	+	-	34 622	89.56%
LeNet5-f1-f2-2	3					33 344	89.09%
LeNet5-f1-f2-3	2					32 918	88.73%
LeNet5-f1-f2-4	6	8	+	+	-	18 054	88.19%
LeNet5-f1-f2-5	3					17 376	87.63%
LeNet5-f1-f2-6	2					17 150	87.88%
LeNet5-f1-f2-7	**6**	4	+	+	-	**9770**	**87.27%**
LeNet5-f1-f2-8	3					9392	86.53%
LeNet5-f1-f2-9	2					9266	86.57%
LeNet5-f1-f2-10	6	2	+	+	-	5628	84.62%
LeNet5-f1-f2-11	3					5400	85.30%
LeNet5-f1-f2-12	2					5324	83.59%
LeNet5-f1-1	6	16	+	-	-	5142	38.37%
LeNet5-f1-2	3					3864	57.72%
LeNet5-f1-3	**2**					**3438**	**76.97%**
LeNet5-f1-4	6	8	+	-	-	2654	51.85%
LeNet5-f1-5	3					1976	56.97%
LeNet5-f1-6	2					1750	61.48%
LeNet5-f1-7	**6**	4	+	-	-	**1410**	**75.76%**
LeNet5-f1-8	3					1032	37.78%
LeNet5-f1-9	2					906	62.53%
LeNet5-f1-10	6	2	+	-	-	788	68%
LeNet5-f1-11	3					560	50.65%
LeNet5-f1-12	2					484	59.63%

Рассмотрим результаты первой группы из таблицы 1 (с LeNet5-classic по LeNet5-v11). В этих моделях изменялись только количество карт признаков на слоях C1 и C3. Можно увидеть, что модели с наличием на слое C3 16 и 8 карт признаков можно считать перенасыщенными, так как точность вирируется в районе 89%, а количество параметров довольно большое (более 25 тыс). В моделях с 4-мя картами точность такая же, но количество параметров уже меньше (менее 20 тыс). В моделях с 2 картами на слое C3 уже точность начинает падать существенно. Лучшей моделью из данного списка можно считать LeNet-v6, в которой точность 89.61%, а количество параметров — 19574.

В моделях второй группы (с LeNet5-f1-f2-1 по LeNet5-f1-f2-12 из таблицы 1) имеется только два полносвязных слоя. Уменьшение полносвязных слоев существенно уменьшает количество параметров моделей, но при этом видно еще то, что точность деградирует незначительно. У самой «маленькой» модели наблюдается точность в 83.59% при 5324 параметров, количество карт признаков на C1 и C3 слоях равно двум. Отметим, что модели LeNet-5-f1-f2 с 16 картами на C3 слое показывают результат не хуже, чем модели LeNet-5-vX с тремя полносвязными слоями, при этом число параметров меньше 35 тыс. Лучшей моделью из этого списка можно считать LeNet5-f1-f2-7, так как у нее 9770 параметров и точность около 87%.

Перейдем к третьей группе (с LeNet5-f1-1 по LeNet5-f1-12 из таблицы 1), в которых имеется только один полносвязный слой. Результаты показывают, что модели с одним полносвязным слоем показывают низкую точность. Лучшими моделями из этого списка будут LeNet5-f1-3 и LeNet5-f1-7 с точностью 76.97% и 75.76%, количество параметров 3438 и 1410. Выделим, что часть моделей получились недообученными и для их полного обучения уже надо менять сам подход, увеличивать количество эпох, начинать с большей скорости обучения или применять другие методы для обучения.

На рисунке 4 изображено сравнение всех модификаций исходной архитектуры LeNet-5.

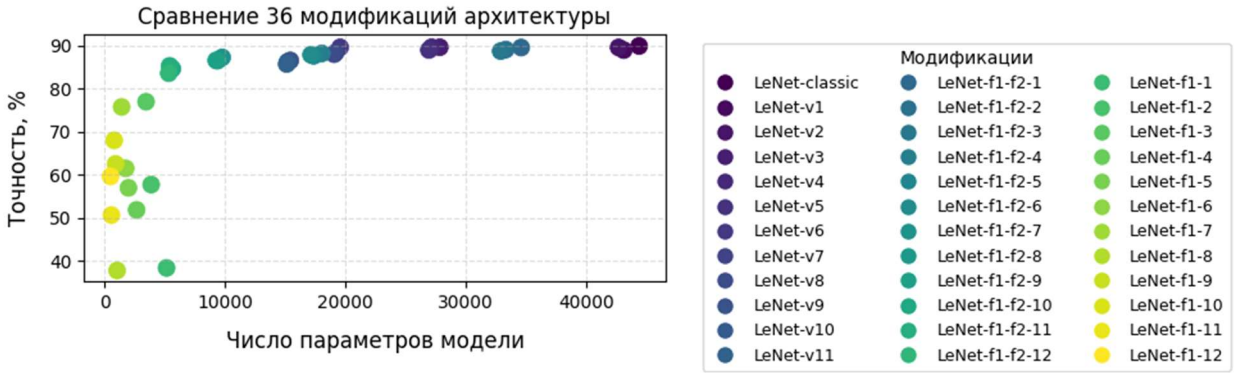


Рисунок 4 – Зависимость точности от числа параметров для модификаций СНС LeNet

Из приведенного графика мы можем сделать следующие выводы, что наличие трех полносвязных слоев приводит архитектуру к насыщению, количество параметров растет, но точность сильно не увеличивается. Если в исходной архитектуре оставить один полносвязный слой, то количество параметров уменьшиться сильно, меньше 5 тыс. параметров, а точность архитектуры будет невысокая и для её увеличения надо будет пересматривать подход к обучению. Лучшим вариантом для архитектуры LeNet – наличие двух полносвязных слоев, так как при этом количество параметров уменьшается с 44 тыс. до 5 тыс., а точность спадает с 89% до 85%, но результат все равно остается удовлетворительным. Отметим результат модели LeNet5-f1-f2-4, у которой количество параметров в 2,5 раза меньше (18054), чем у оригинальной модели, а точность меньше всего на 1%. Лучшей моделью считается LeNet-v6, в которой точность 89.61%, а количество параметров — 19574.

Вывод

В результате работы исследовано как меняется точность и количество параметров архитектуре СНС LeNet-5. Можно сделать вывод, что оригинальную модель LeNet5-classic можно считать перенасыщенной, так как есть модификации этой модели с такой же точностью, как и в оригинальной, но количество параметров меньше. Например, модель LeNet-v6 имеет точность 89.61%, а количество параметров — 19574, почти в 2,5 раза меньше параметров, чем у LeNet5-classic. Отметим, что есть модели и с меньшим числом параметров, но их точность не на много меньше, чем у LeNet-v6. Данными моделями можно считать LeNet5-f1-f2-7 и LeNet5-f1-f2-11, у которых количество параметров меньше 10 тыс., а точность в районе 87,27% и 85,30%, соответственно.

Список использованных источников:

1. LeCun Y. et al. Gradient-based learning applied to document recognition //Proceedings of the IEEE. – 1998. – Т. 86. – №. 11. – С. 2278-2324.

2. Szegedy C. et al. Intriguing properties of neural networks // arXiv preprint arXiv:1312.6199. – 2013.

3. Qassim H., Verma A., Feinzimer D. Compressed residual-VGG16 CNN model for big data places image recognition // IEEE 8th annual computing and communication workshop and conference (CCWC). – 2018. – С. 169-175.

UDC 004.85

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE NUMBER OF PARAMETERS IN A CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK ON THE ACCURACY OF IMAGE RECOGNITION

Ermakovich V.A.[1]

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics[1]*, Minsk, Republic of*

Vashkevich M.I. – Doctor of Science

Annotation. The paper presents research on the inf`luence of the number of parameters of a convolutional neural network on the accuracy of image recognition. The study was conducted based on the LeNet-5 architecture with a change in the number of feature maps and the number of fully connected layers. The research presents a description of this architecture using a learning rate scheduler, a table and a graph with the results of learning modifications to the original model.

Keywords. LeNet, CNN, image recognition.

ЧАСЫ-МЕТЕОСТАНЦИЯ НА БАЗЕ АППАРАТНОЙ ПЛАТФОРМЫ ESP32-WROOM

Субботенко О.Р., студентка гр. 250702

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Порхун М.И. – магистр техн. наук

В работе рассматривается реализация устройства, сочетающего в себе часы и настольную метеостанцию, построенное на базе аппаратной платформы ESP32-WROOM. Устройство позволяет считывать информацию о текущем времени и метеорологических показателях окружающей среды, отображать полученные данные на LCD-дисплее, а также отправлять их на веб-сервер. Проверка работоспособности устройства выполнена путем макетирования.

Часы-метеостанция – это компактное устройство, которое отображает сведения о текущем времени и дате и позволяет контролировать метеорологические показатели окружающей среды. На рисунке 1 изображена структура устройства [1].

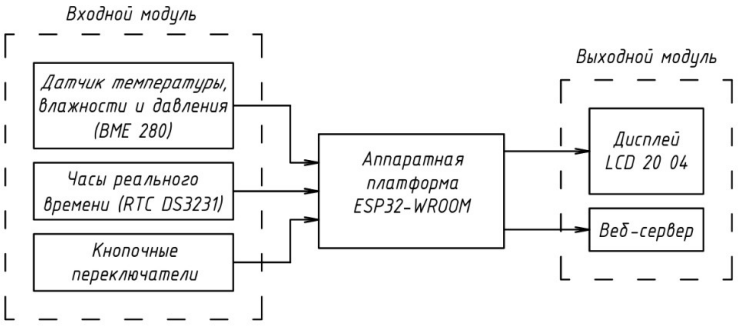


Рисунок 1 – Структурная схема часов-метеостанции

Разработанное устройство обеспечивает измерение и отображение следующих параметров:
– Текущее время в формате ЧЧ.ММ.СС, ДД.ММ.ГГГГ;
– Температура, °С;
– Влажность, %;
– Давление, мм.рт.ст.;
– Высота над уровнем моря, м.

Основным блоком является аппаратная платформа ESP32-WROOM [2], к которой подключаются входной и выходной модули. Входной модуль включает в себя датчик температуры, влажности и давления (BME 280), модуль часов реального времени (RTC DS3231) и кнопочных переключателей. Кнопочные переключатели используются для выбора отображения одного из метеорологических параметров, а также позволяют вручную настроить время и дату. Полученные данные после обработки передаются на аппаратную платформу ESP32-WROOM, которая управляет работой всего устройства. Текущее время, дата, день недели, сведения о температуре, влажности, давлении и высоте над уровнем моря выводятся на дисплей (LCD 20 04). Метеорологические показатели также собираются веб-сервером и отображаются на html-странице (рисунок 2). Дисплей и веб-сервер входят в состав выходного модуля.

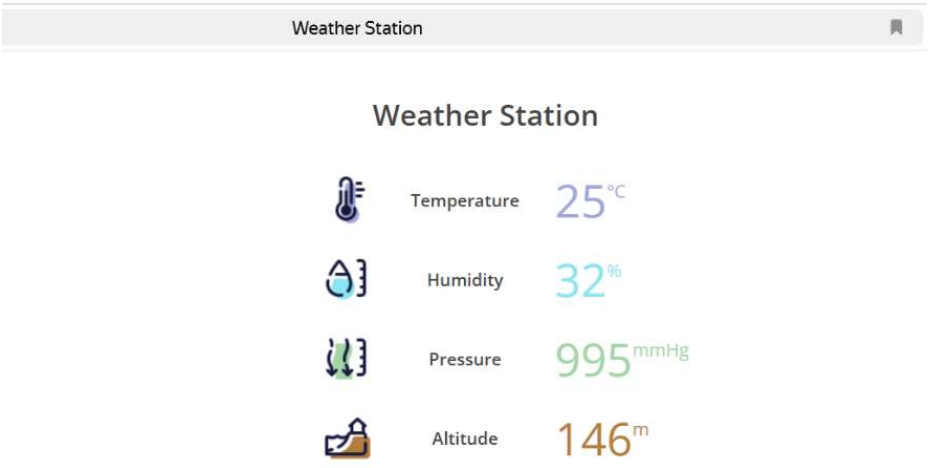


Рисунок 2 – Оформление html-страницы

Обобщенный алгоритм работы устройства приведен ниже:

1. Инициализация устройства: подключение необходимых библиотек, объявление глобальных переменных и константных значений, назначение выводов на для подключаемых модулей, настройка веб-сервера, установка выводов как входных, инициализация дисплея, датчика температуры, влажности и давления, модуля часов реального времени;

2. Подключение к локальной Wi-Fi сети, формирование IP-адреса, запуск веб-сервера;

3. В цикле выполняются следующие действия:

3.1. Очистка дисплея;

3.2. Вывод на дисплей текущего времени, даты, дня недели, температуры, влажности, давления или высоты над уровнем моря (по умолчанию выводится температура);

3.3. Обновление данных, выводимых на дисплей каждую секунду;

3.4. Выбор выводимого на дисплей метеорологического показателя с использованием кнопочных переключателей;

3.5. Отправка данных на веб-сервер [3].

Проверка корректности работы разработанного устройства выполнена путем макетирования (рисунок 3). Результаты макетирования показали, что устройство работает корректно.

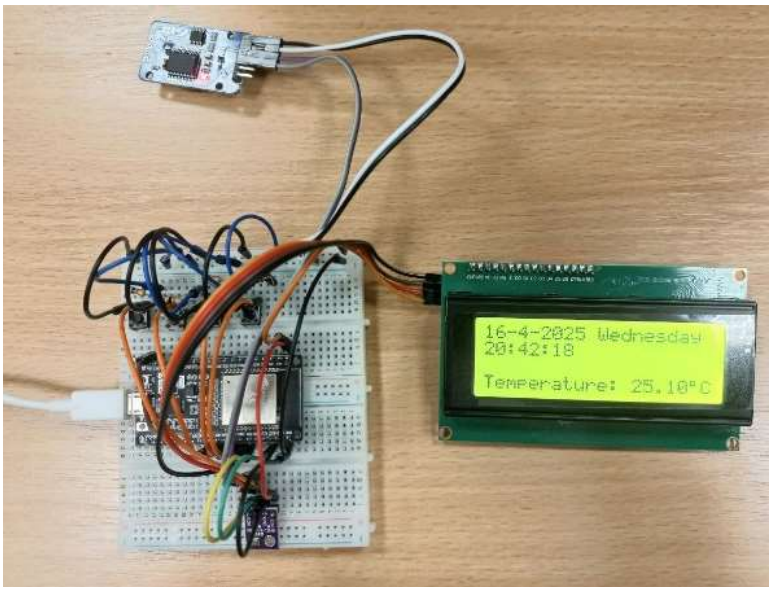
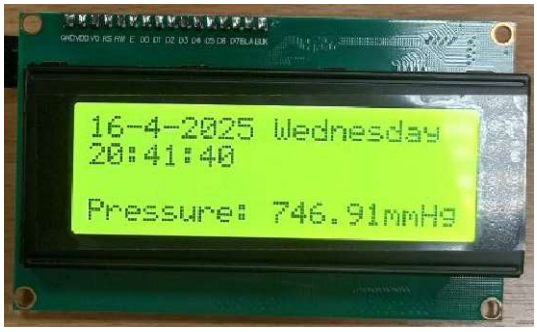


Рисунок 3 – Макет часов-метеостанции на базе аппаратной платформы ESP32-WROOM

На рисунке 4 показаны фото разработанного макета в различных режимах работы: отображение времени, даты, текущей температуры (рисунок 4 *а)*), а также текущего атмосферного давления (рисунок 4 *б)*).



а)



б)

Рисунок 4 – Режимы работы устройства: *а)* вывод текущей температуры; *б)* вывод текущего атмосферного давления

В процессе разработки устройства были пройдены такие этапы, как создание структуры устройства, прописание алгоритма его работы, а также была предусмотрена возможность сбора данных сервером. Результатом работы является макет и html-страница на локальном сервере.

Список использованных источников:

1.Часы-метеостанция на Arduino своими руками [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://alexgyver.ru/meteoclock/.

2. ESP-WROOM-32 Datasheet : Data Sheet/ Espressif Systems. – Shanghai, China, 2016.

3. Create A Simple ESP32 Weather Station With BME280 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://lastminuteengineers.com/bme280-esp32-weather-station/.

РАЗРАБОТКА АППАРАТНОГО МОДУЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ФУНКЦИИ ARGMAX НА БАЗЕ FPGA

Субботенко О.Р.[1], студентка гр. 250702

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники[1]
г. Минск, Республика Беларусь

Вашкевич М.И. – докт. техн. наук, доцент

Целью работы является разработка устройства для поиска индекса максимального элемента среди значений, поданных на вход устройства. Разработанное устройство реализовано на FPGA, выполнен анализ аппаратных затрат при синтезе устройства на основе его структурного и поведенческого описания.

Устройство поиска индекса максимального элемента среди значений, поданных на вход, является универсальным и может быть использован как встраиваемый блок в различные системы. Одним из проектов, в котором разработанное устройство необходимо, является нейросеть, распознающая рукописные цифры [1,2]. Поиск индекса осуществляется, когда из полученных вероятностей совпадения с каждой цифрой от 0 до 9 необходимо выбрать цифру с наибольшей вероятностью. Индекс наибольшего значения вероятности и будет являться цифрой, которой она соответствует.

На вход устройства поступают десять восьмиразрядных двоичных чисел, на выход – индекс максимального числа и само число. Используя язык SystemVerilog, для устройства разработано два описания: структурное и поведенческое. Схема, построенная для первого способа, включает в себя компараторы для попарного сравнения чисел и мультиплексоры для выбора индекса очередного максимального числа. Функциональная схема устройства приведена на рисунке 1.

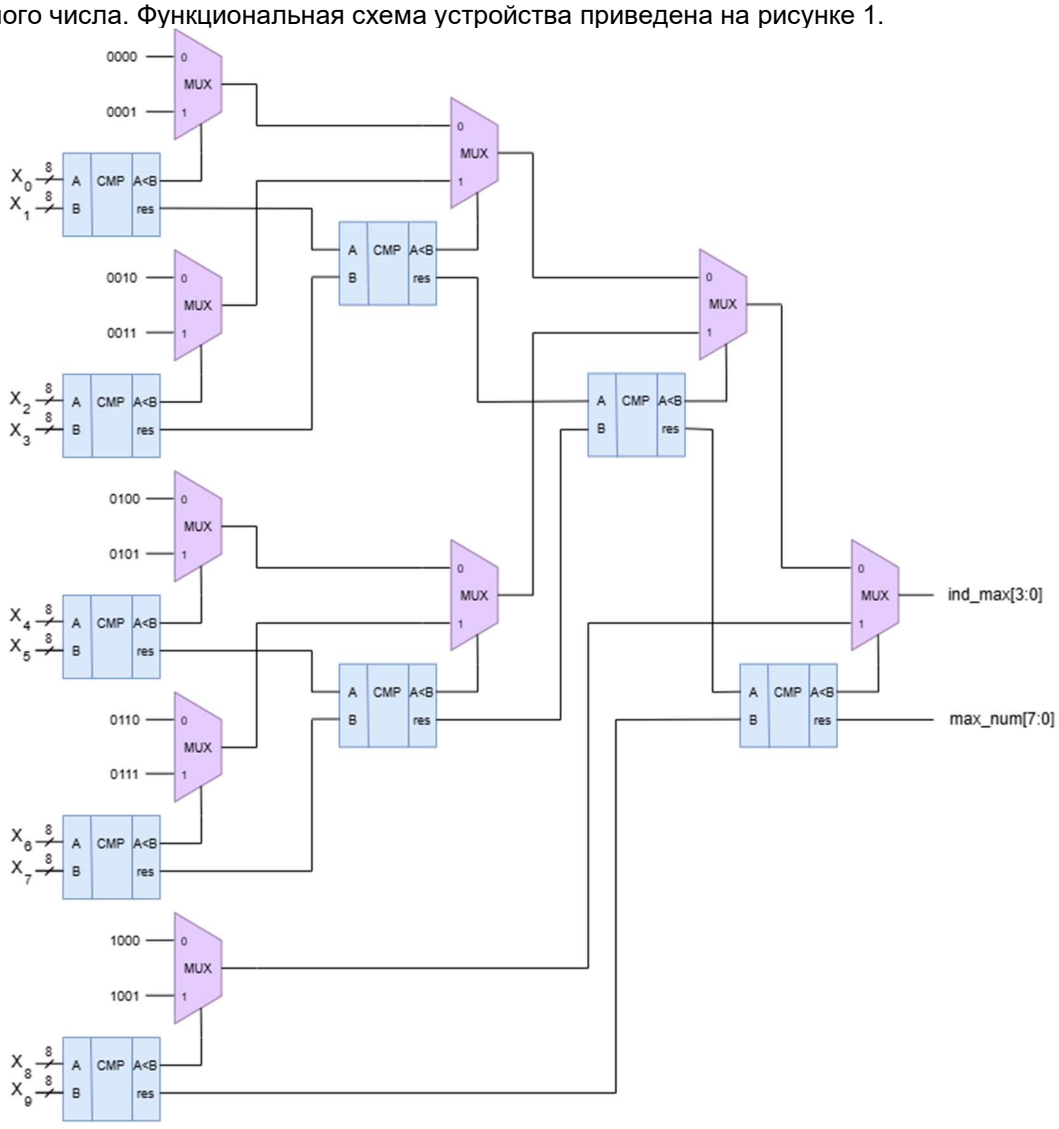


Рисунок 1– Функциональная схема устройства

Вне зависимости от выбранного способа реализации устройства, результат работы идентичен. В случае если на два различных входа подаются одинаковые числа, приоритет у значения с меньшим

индексом. Симуляция работы устройства была выполнена в САПР Vivado. Временная диаграмма работы устройства приведена на рисунке 2.

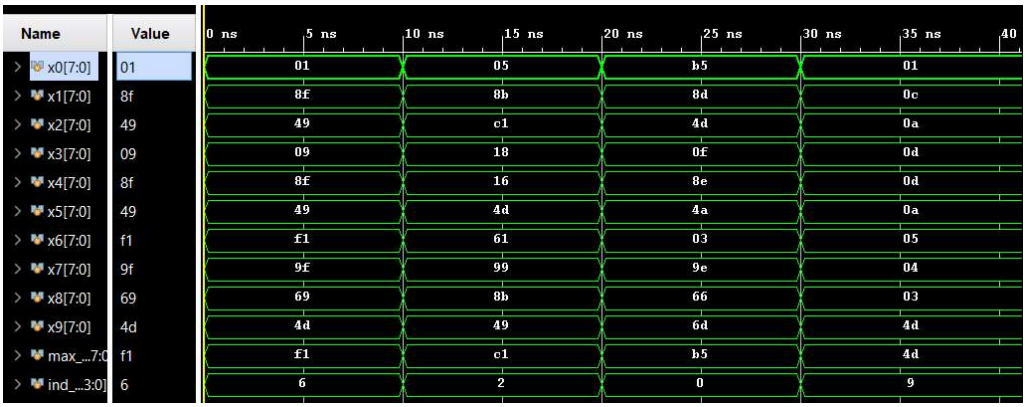


Рисунок 2 – Временная диаграмма работы устройства

Отличие поведенческого и структурного описания заключается в требуемых ресурсах Xilinx FPGA XC7Z010. Устройство, синтезированное на основе структурного описания, является более компактным и требует меньше аппаратных затрат. Сведения о требуемых ресурсах платы в обоих случаях приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты синтеза различных вариантов реализации модуля

Тип описания	LUTs	Slices
Поведенческое описание	138	LUTs
Структурное описание	112	LUTs

В данной работе рассмотрены различные способы описания устройства поиска индекса максимального элемента. Несмотря на то, что поведенческое описание является более компактным и более легким для понимания, предпочтительным будет структурное, которое требует меньшего количества ресурсов.

Список использованных источников:

1. Кривальцевич, Е. А. Исследование аппаратной реализации нейронной сети прямого распространения для распознавания рукописных цифр на базе FPGA / Е. А. Кривальцевич, М. И. Вашкевич // Доклады БГУИР. 2025. Т. 23, № 2. С. 101–108.

2. Westby I. FPGA acceleration on a multilayer perceptron neural network for digit recognition / I. Westby, X. Yang, T. Liu, H. Xu // The Journal of Supercomputing. – 2021 – vol. 77, no. 12, P. 14356–14373.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЧЕТЫРЕХКОЛЕСНОЙ ПЛАТФОРМОЙ

Зубрицкая Е.И. , студентка гр. 250702

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Щепанский В.Е. – магистр техн. наук

В работе рассматривается система управления четырехколесной платформой на базе аппаратной платформы Arduino. Приведена структурная схема устройства и ее описание, а также обобщенный алгоритм функционирования. Проверка работоспособности системы выполнена путем макетирования, а ее результаты подтвердили корректность работы устройства.

Современные технологии дистанционного управления мобильными роботизированными платформами находят широкое применение в самых разнообразных сферах: от образовательных целей до прикладных задач промышленной автоматизации. Одним из перспективных направлений является разработка четырехколесных платформ с возможностью управления посредством Bluetooth, поскольку это обеспечивает простоту интеграции проекта, гибкость и возможность масштабирования схемы. Использование аппаратной платформы Arduino в качестве основы для управления всей системой делает проект доступным для широкого круга пользователей. При построении системы был использован модульный принцип, что облегчает возможность дальнейшего ее дополнения.

Структура системы управления четырехколёсной платформой представлена на рисунке 1.

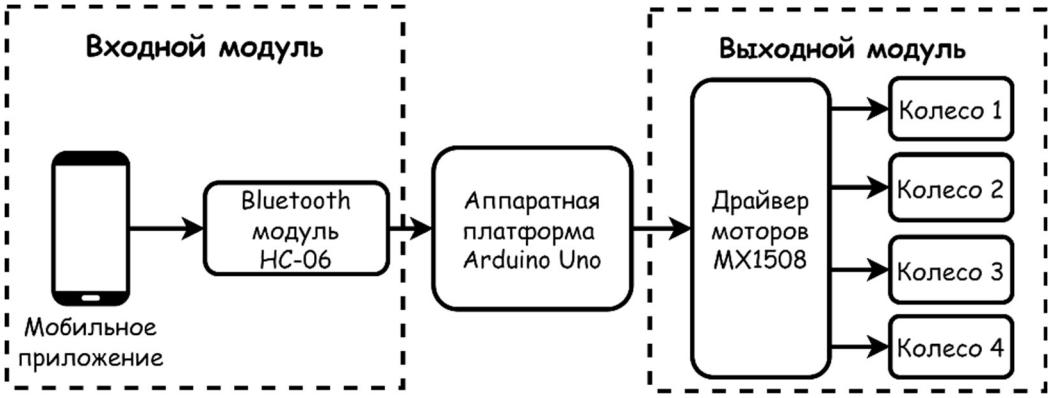


Рисунок 1 – Структурная схема устройства

Центральной частью схемы является аппаратная платформа Arduino, обеспечивающая связь всех элементов системы. Команды, отвечающие за направление и скорость движения четырехколесной платформой, вводятся пользователем при помощи мобильного приложения [1], интерфейс которого показан на рисунке 2.

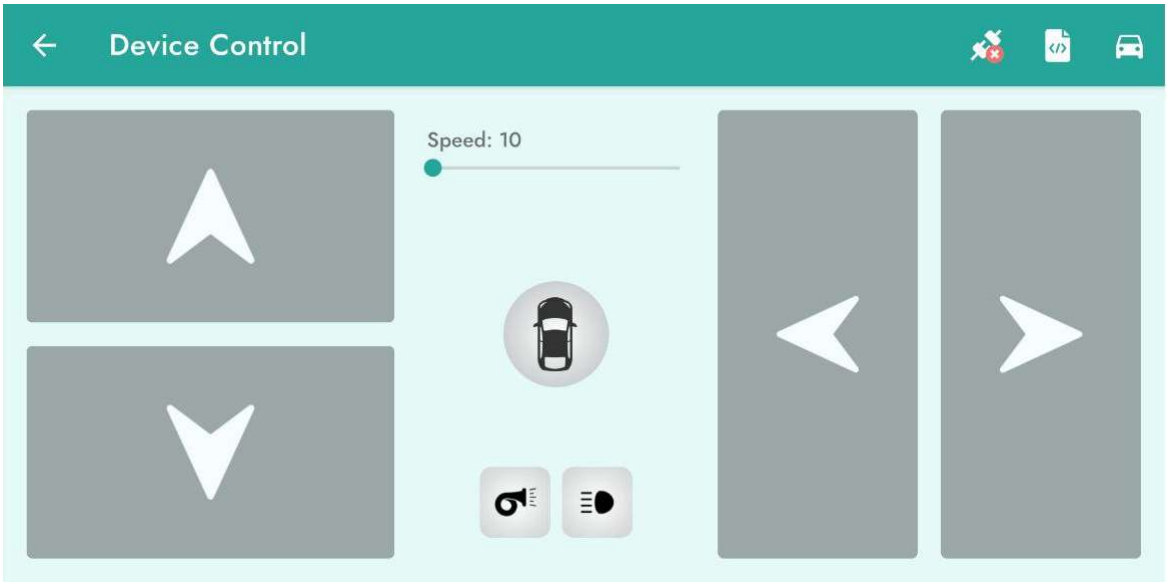


Рисунок 2 – Интерфейс мобильного приложения для управления системой

Прием команд от мобильного приложения и их передача к аппаратной платформе Arduino осуществляется при помощи Bluetooth модуля HC-06 [2]. На основании полученных данных формируются управляющие сигналы, передающиеся затем драйверу моторов MX1508 [3], при помощи

которого осуществляется индивидуальное управление четырьмя колесами. Задание скорости и направления вращения моторов реализуется при помощи широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Использование ШИМ позволяет плавно регулировать скорость вращения моторов [4].

Механизм поворота платформы схож с поворотом гусеничных транспортных средств: он осуществляется за счет вращения правых и левых колес в противоположных направлениях. Например, для выполнения поворота вправо левые колеса вращаются вперед, в то время как правые колеса вращаются назад. Аналогично выполняется поворот влево: левые колеса вращаются назад, правые – вперед.

Обобщенный алгоритм работы системы приведен ниже:

1. Инициализация системы (подключение библиотек, инициализация переменных, задание режимов работы портов ввода-вывода и т.д.);
2. Подключение Arduino к мобильному устройству через Bluetooth-модуль;
3. Прием команд пользователя с мобильного устройства на Bluetooth модуль;
4. Отправка команд Bluetooth модулем на платформу Arduino;
5. Формирование управляющих сигналов и их передача на драйвер моторов.

Для проверки работоспособности системы был разработан ее макет (рисунок 3).

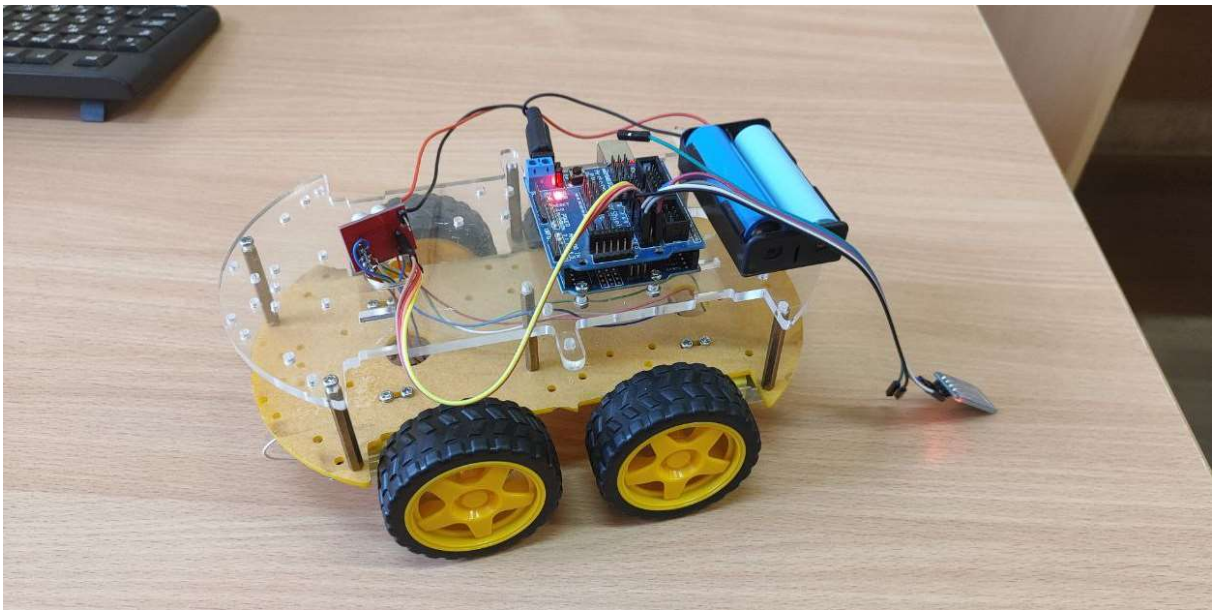


Рисунок 3 – Макет системы управления четырехколесной платформой на базе Arduino

Роль каркаса в собранном макете играют два пластмассовых основания, к которым прикрепляется аппаратная платформа Arduino, Bluetooth модуль, драйвер моторов, непосредственно четыре мотора, а также аккумуляторы. К нижнему основанию прикручены четыре мотора-редуктора с колесами. Моторы, в свою очередь, соединены с драйвером, находящимся на верхнем основании. Там же находится и аппаратная платформа Arduino Uno, к которой подключен вышеупомянутый драйвер, Bluetooth-модуль и аккумулятор, обеспечивающий питание всей системы.

Результаты макетирования устройства подтвердили корректность работы системы.

Таким образом, разработана структура системы управления четырехколесной платформой на базе Arduino Uno, приведен обобщенный алгоритм ее работы. Собран макет системы, подтверждающий ее работоспособность.

Список использованных источников:

1. Arduino Bluetooth Controller [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.giristudio.hc05.bluetooth.arduino.control&pli=1

2. Bluetooth модуль HC-06 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://developer.alexanderklimov.ru/arduino/bluetooth_hc06.php

3. Управление двигателем через ШИМ-сигнал на Arduino [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://dzen.ru/a/Zwd715LrgH_JRoJb

4. Драйвер коллекторного мотора MX1508 (L298N mini) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://dzen.ru/a/Y7548D_c6WqJkqJc

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ТЕМПЕРАТУРЫ КОМПЛЕКТУЮЩИХ ПК

Степанчук Д.Е., студент гр.250701

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Порхун М.И. — магистр техн. наук

В работе рассматривается реализация системы мониторинга температуры комплектующих персонального компьютера. Система позволяет измерять текущую температуру комплектующих ПК, отображать полученные данные, как на LCD-дисплее, так и на RGB-ленте. Проверка работоспособности устройства выполнена путем макетирования.

Регулярный мониторинг температуры комплектующих персонального компьютера (ПК) помогает избежать перегрева, оптимизировать производительность и продлить жизнь ПК, что особенно важно для мощных игровых компьютеров, рабочих станций и разогнанных систем [1]. Система мониторинга позволяет оперативно и удобно отслеживать температуру и производительность комплектующих ПК, которые невозможно определить программным путем (например, блок питания, ОЗУ, жесткий диск и т.д.). Структурная схема устройства приведена на рисунке 1:



Рисунок 1 – Структурная схема системы мониторинга температуры комплектующих ПК

Основу устройства составляет аппаратная платформа Arduino Nano [2], к которой подключаются входной и выходной модули. В качестве входного модуля используется два датчика температуры DS18B20, а также программное обеспечение (ПО) Open Hardware Monitor [3] — программа для мониторинга производительности и температуры компонентов ПК. Датчики температуры могут подключаться к любым компонентам ПК, температуру которых необходимо отслеживать. Информация о температуре и загруженности CPU и GPU извлекается из данных ПО Open Hardware Monitor. Для отображения измеренных показаний используется LCD-дисплей и RGB-лента, входящие в выходной модуль устройства. RBG-лента необходима для индикации данных о текущей температуре ЦП: при управлении лентой используется градиентное изменение цветовой палитры от холодного (синий свет, температура ниже 20 °C) до горячего оттенка (красный цвет, температура свыше 50 °C).

Проверка работоспособности системы выполнена путем макетирования (рисунок 2). Результаты макетирования показали, что устройство работает корректно.

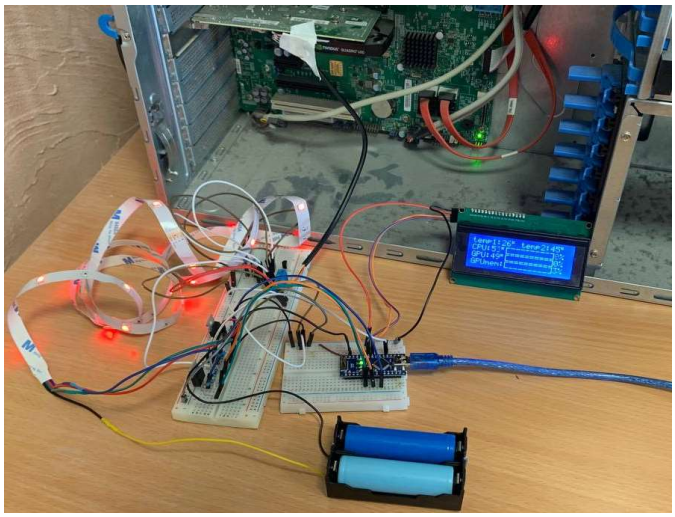


Рисунок 2 – Макет системы мониторинга температуры комплектующих ПК

В процессе разработки устройства была разработана его структура, описан алгоритм функционирования. Для проверки корректности работы системы был разработан ее макет, подтвердивший работоспособность устройства.

Список использованных источников:

1. Система мониторинга температуры на Arduino своими руками [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://alexgyver.ru/pcdisplay/

2. Nano A. Arduino nano //A MOBICON Company. – 2018. – Т. 30.

3. Open Hardware Monitor [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://openhardwaremonitor.org/

АУДИОПЛЕЕР НА БАЗЕ АППАРАТНОЙ ПЛАТФОРМЫ ARDUINO

Ванькевич А.А., Рудницкий М.С., Богатырёв А.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Порхун М.И. - магистр техн. наук

В работе рассматривается задача реализации аудиоплеера плеера на базе аппаратной платформы Arduino Nano. Приведена структурная схема устройства и её описание, а также обобщённый алгоритм функционирования устройства. С целью проверки работоспособности устройства построен его макет.

Аудиоплеер – это электронное устройство или программное обеспечение, предназначенное для воспроизведения звуковых файлов различных форматов. Он может быть как портативным (аппаратным), так и виртуальным (приложением на ПК или смартфоне). Несмотря на повсеместное использование смартфонов как компактных устройств для воспроизведения аудиофайлов, аудиоплеерам также находится применение.

Структурная схема аудиоплеера представлена на рисунке 1.

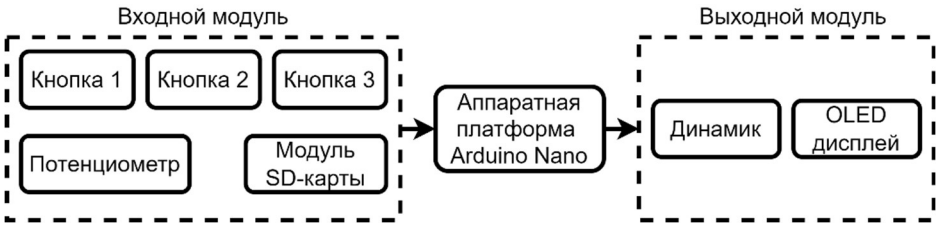


Рисунок 1 – Структурная схема аудиоплеера

Основным модулем устройства является аппаратная платформа Arduino Nano, связывающая все компоненты схемы. Для хранения аудиофайлов используется модуль SD-карты [1]. При помощи кнопок 1…3 осуществляется управление устройством. Кнопка 1 выполняет функцию остановки и возобновления проигрывания аудиофайла: в первом случае композиция ставится на паузу, во втором – продолжается ее воспроизведение с того момента, на котором она была приостановлена. Кнопка 2 отвечает за переход на следующий аудиофайл. Кнопка 3 выполняет функцию перехода к предыдущему аудиофайлу. При переходе по аудиофайлам по нажатию на кнопки 1 или 2 используется циклическая навигация. Для воспроизведения звука используется динамик 0.5 Вт, 8 Ом [2,3]. Управление громкостью звука осуществлено при помощи потенциометра. Одновременно с воспроизведением аудио на OLED-дисплее отображается информация о состоянии проигрываемой композиции.

Для проверки работоспособности устройства был собран макет (рисунок 2).

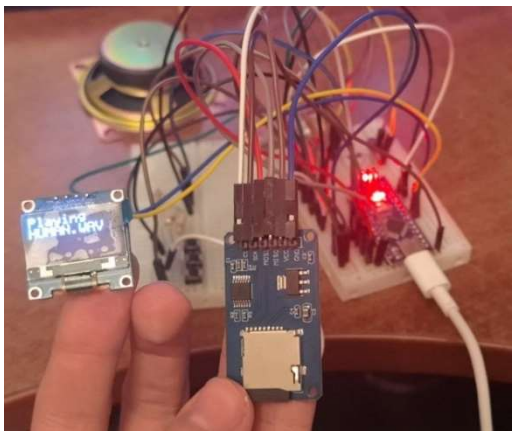


Рисунок 2 – Макет аудиоплеера

В результате работы был реализован аудиоплеер на базе аппаратной платформы Arduino Nano. Устройство позволяет пользователю выбирать и воспроизводить аудиофайлы, записанные на SD карту. Макетирование показало, что все функции устройства работают корректно.

Список использованных источников:

1. Подключение micro SD карты к Arduino [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://lastminuteengineers.com/arduino-micro-sd-card-module-tutorial/

2. Простой аудиоплеер и усилитель на Arduino Uno [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://microkontroller.ru/arduino-projects/prostoj-audiopleer-i-usilitel-na-arduino-uno

3. Как подключить к Arduino 8-омный динамик [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.2150692.ru/faq/18-wiki/80-kak-podklyuchit-k-arduino-8-omnyj-dinamik

КОНЦЕПЦИЯ УСТРОЙСТВА ДЛЯ АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО СПЕКТРА В УСЛОВИЯХ ПОРТОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Гурьев В.А.[1], студент гр.250701

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники[1]
г. Минск, Республика Беларусь

Шемаров А.И. – доцент, канд. тех. наук

В настоящей работе представлена концепция математического обеспечения устройства для анализа электромагнитного спектра в условиях портовой инфраструктуры. Описаны методы спектрального анализа, включая дискретное преобразование Фурье с оконными функциями и оценку спектральной плотности мощности методом Велча. Рассмотрено статистическое описание помех на основе распределения Накагами-Райса и влияние физических препятствий. Также предложена архитектура распределённого IoT-устройства для сбора и передачи спектральных данных. Модель требует дальнейшей экспериментальной верификации.

Введение

В условиях современной портовой инфраструктуры наблюдаются трудности при обеспечении надёжной радиосвязи из-за высокой плотности источников излучения. Основная задача — объективная оценка спектральных характеристик сигналов под воздействием полезного излучения и помех. В работе предлагается концептуальная модель математического аппарата и архитектура IoT-устройства для мониторинга электромагнитной обстановки.

Постановка задач

Цель — оценка возможности применения существующего математического аппарата основы для анализа спектра в сложной среде. Задачи:

1) Модель PSD с учётом полезного сигнала, шума и интерференции;
2) Применение DFT с оконными функциями для минимизации утечек спектра;
3) Обоснование метода Велча для устойчивой оценки PSD;
4) Концептуальное описание статистического моделирования помех с использованием распределения Накагами-Райса.
5) Учёт потерь сигнала при затухании, дифракции и отражениях;
6) Архитектура IoT-устройства для сбора, обработки и передачи данных.
7) Оценка влияния физических препятствий (инфраструктурных объектов) на характеристики распространения сигнала.

Подходы к проведению исследования

Предлагаемые подходы основываются на классических методах спектрального анализа и статистического моделирования. Предлагается начинать с преобразования временного сигнала с применением оконных функций с дальнейшим преобразованием в частотную область посредством DFT, что способствует снижению влияния боковых лепестков. Для оценки спектральной плотности мощности используется метод Велча, предполагающий разбиение сигнала на сегменты с последующим усреднением периодограмм. Статистическая характеристика огибающей случайных сигналов описывается распределением Накагами-Райса, что позволяет учитывать вариации мощности как от полезного сигнала, так и от интерференционных помех. Дополнительно моделируются потери, вызванные затуханием, дифракцией и отражениями, возникающими при прохождении сигнала через физические препятствия.

Ожидаемые результаты и перспективы применения

Применяемые подходы позволяют объединить классические методы спектрального анализа и распределённую архитектуру сенсорной сети:

1) *Сенсоры* анализируют сигнал и передают его в микроконтроллер.
2) *Микроконтроллер накладывает временное окно на сигнал, выполняет DFT, оценивает PSD методом Велча.*
3) *Осуществляется статистическое моделирование* огибающей через распределение Накагами-Райса.
4) *Посредством коммуникационного модуля* передаётся результат на облачную платформу.
5) *Посредством пользовательского интерфейса* визуализируются данные в реальном времени.



Рисунок 1 – Структура IoT-устройства для мониторинга электромагнитного спектра.

Ожидаемые результаты

Ожидается, что в случае успешной реализации, система обеспечит:

1) объективную картину распределения энергии сигнала;

2) адаптивную фильтрацию для подавления интерференции;

3) платформу для интеграции в информационные системы портовой инфраструктуры.

Пример MATLAB исследования

В MATLAB реализована модель. В модели используется сгенерированный зашумлённый сигнал с фактором затухания. Сгенерированный сигнал используется для выполнения спектрального анализа методом Велча. Полученные результаты моделирования позволяют сделать вывод о возможности применения предложенного подхода.

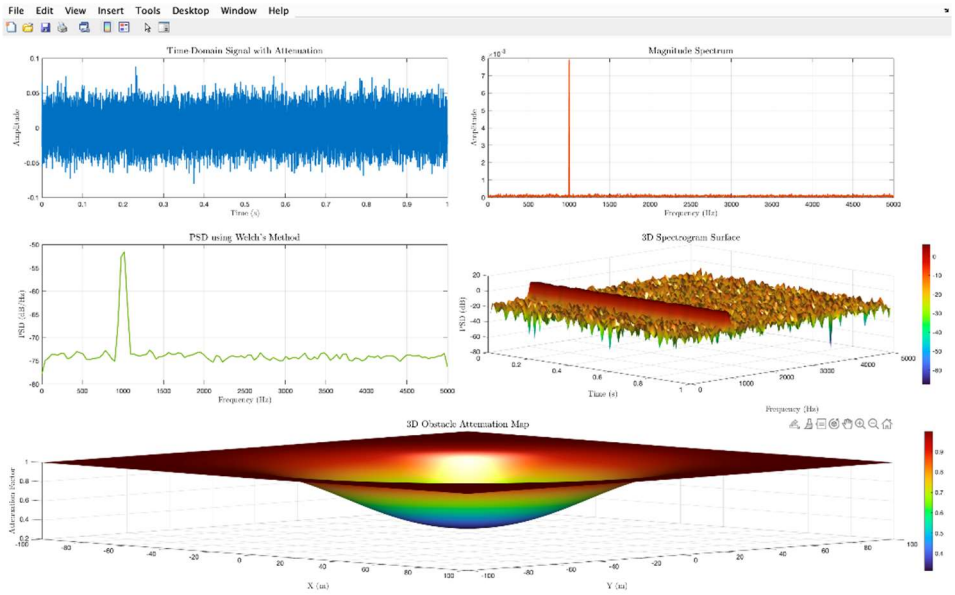


Рисунок 2 – Пример спектрального анализа в MATLAB: график PSD методом Велча.

Заключение

Представленная концепция распределённой IoT-архитектуры и концепция математического обеспечению, базирующаяся на методах цифровой обработки сигналов. Что позволит обеспечить непрерывный мониторинг и анализ спектра в портах для практических целей обеспечения целостности грузоперевозок. В дальнейшем предполагается выполнить экспериментальную валидацию и оптимизацию аппаратного решения концепции.

Список использованных источников:

1. Цифровая обработка сигналов: Принципы, алгоритмы и приложения. 5-е изд. – Pearson, 2021.

2. Цифровая обработка сигналов. – М.: Бином, 2015.

3. Современные методы адаптивной фильтрации. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2017

УДК 004.934.2+534.784

ПРИМЕНЕНИЕ РЕКУРЕНТНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ С ДОЛГОЙ КРАТКОСРОЧНОЙ ПАМЯТЬЮ ДЛЯ ЗАДАЧИ РАСПОЗНАВАНИЯ ЭМОЦИЙ ПО РЕЧИ

Краснопрошин Д.В., аспирант кафедры ЭВС

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Вашкевич М.И. – докт. техн. наук, доцент

Аннотация. Экспериментально исследуется возможность применения рекуррентных нейронных сетей с долгой краткосрочной памятью нейронных сетей для классификации эмоций в речи. Представлены варианты реализации классификатора на основе рекуррентных сетей с одним, двумя и тремя скрытыми слоями. В качестве исходных речевых признаков использовались мелчастотные кепстральные коэффициенты. Наилучший результат классификации показала трехслойная LSTM-сеть, продемонстрировав значением метрики точности UAR=32%. Также предложены варианты улучшения модели, которые, потенциально могут улучшить качество классификации.

Ключевые слова. Нейронные сети, глубокое обучение, распознавание эмоций в речи, рекуррентные нейронные сети, обработка речевого сигнала.

Введение

Распознавание эмоций по речи является актуальной задачей в области обработки естественного языка и вычислительной психологии. В последние годы были предложены различные подходы, основанные, как на статистических методах (классическое машинное обучение), так и на нейросетевых архитектурах, для решения этой задачи. Одним из таких методов является использование рекуррентных нейронных сетей (РНС) с долгосрочной краткосрочной памятью (LSTM), которые эффективны при работе с временными рядами данных, такими как аудиофайлы. В этой работе мы экспериментально исследуем возможность применения LSTM для задачи распознавания эмоций в речи с использованием набора Ryerson Audio-Visual Database of Emotional Speech and Song (RAVDESS) [1, 2].

Извлечение признаков

В данной работе анализ речевых характеристик базировался на использовании мел-частотных кепстральных коэффициентов (МЧКК) [2]. Процесс вычисления МЧКК относится к методам кратковременного анализа речевого сигнала. В финальный набор исходных признаков включались нормализованные коэффициенты МЧКК (34 признака).

Разработка модели классификации на основе LSTM

В данном исследовании были разработаны и оценены классификаторы эмоций в речи на основе LSTM, реализованных с использованием библиотеки PyTorch.

Так как речевой сигнал представляет собой последовательность, не менее широкое распространение в задачах распознавания эмоций получили различные модификации РНС. Формально взаимосвязь речевого сигнала и РНС можно описать следующим образом. Речевой сигнал $s(t)$ представляет собой непрерывную функцию времени. В процессе обработки он дискретизируется с частотой f_s, что даёт последовательность дискретных отсчётов:

$$s[n] = s(nT_s), T_s = \frac{1}{f_s}. \quad (1)$$

В контексте задачи распознавания эмоций на вход РНС обычно подаются временные последовательности акустических признаков, характеризующих речевой сигнал. К таким признакам, как было упомянуто выше, относятся и МЧКК.

Так, с помощью оконного преобразования Фурье и вычисления акустических признаков (в данном случае МЧКК), речевой сигнал преобразуется в последовательность векторов:

$$X = [x_0, x_1, \dots, x_T], x_t \in R^d, \quad (2)$$

где сигнал T – длина последовательности, а d – размерность признакового пространства.

РНС моделируют временные зависимости в последовательности X с помощью скрытых состояний h_t, которые передаются между слоями нейронной сети:

$$h_t = \sigma(W_h h_{t-1} + W_x x_t + b_h), \quad (3)$$

где $h_t \in R^m$ – скрытое состояние на шаге t, $W_h \in R^{m \times m}$ и $W_x \in R^{m \times d}$ – матрицы весов, $b_h \in R^m$ – вектор смещения, $\sigma(\cdot)$ – функция активации [3].

Сеть обучается так, чтобы скрытые состояния h_t содержали информацию о предыдущих входных значениях, позволяя моделировать контекст в речевом сигнале.

На основе скрытых состояний РНС формируются выходные предсказания, например, вероятность принадлежности речевого фрагмента к определённому эмоциональному классу:

$$y_t = g\left(V_h h_t + b_y\right), \tag{4}$$

где V_h – матрица весов, $g(\cdot)$ – функция активации, b_y – вектор смещения.

Схематическое представление РНС показано на рисунке 1.

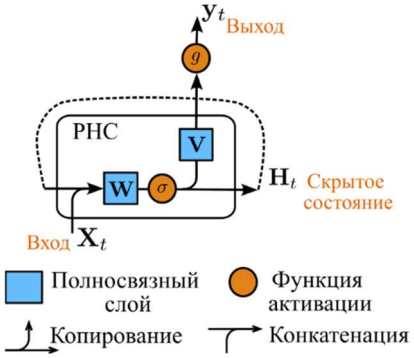


Рисунок 1 – Архитектура простой РНС

LSTM является улучшенной разновидностью РНС, которая решает проблему исчезающего градиента, позволяя эффективно моделировать долгосрочные зависимости в последовательных данных [3]. Математически, LSTM-ячейку можно описать набором уравнений для вычисления состояния и выхода на каждом временном шаге t:

$$\begin{gathered} f_t = \sigma\left(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f\right)(forgetgate), \\ i_t = \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i)(inputgate), \\ \hat{C}_t = tanh(W_C \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_C)(candidatememorycell), \\ C_t = f_t \odot C_{t-1} + i_t \odot \hat{C}_t(memorycell), \\ o_t = \sigma(W_o \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_o)(outputgate), \\ h_t = o_t \odot tanh(C_t)(output), \end{gathered} \tag{4}$$

где f_t, i_t, o_t – забывающее, входное и выходное затворы, соответственно, C_t – состояние памяти ячейки на текущем шаге, h_t – выход сети на текущем шаге, $\sigma itanh$ – сигмоидная и гиперболическая тангенс-функции активации, $\odot$ – операция поточечного умножения, W, b – обучаемые веса и смещения.

В работе предлагается модель, которая представляет собой однонаправленную многослойную LSTM-сеть. На вход подаётся последовательность признаков, представленных нормированными МЧКК (34 признака), которая обрабатывается рекуррентным блоком LSTM с заданным числом слоёв и размерностью скрытого состояния.

Далее предлагается два способа формирования итогового вектора признаков. В первом случае, после прохождения через LSTM извлекается последнее скрытое состояние последнего слоя, которое используется в качестве вектора признаков. Во втором случае, предлагается конкатенация последних скрытых состояний, полученных на каждом слое LSTM.

Итоговый вектор признаков передается через слой dropout (метод регуляризации, при котором случайные нейроны временно "отключаются" во время обучения, чтобы предотвратить переобучение и улучшить обобщающую способность модели) на вход полносвязному слою, а затем через softmax (функция активации, которая преобразует выходные значения модели в вероятностное распределение по классам, обеспечивая, чтобы их сумма была равна единице) для получения распределения вероятностей по классам.

Оценка классификатора

Для итоговой оценки качества модели вычисляли среднее арифметическое (невзвешенное) полноты (unweighted average recall, UAR). UAR – это показатель, используемый для измерения общей производительности модели многоклассовой классификации, вычисляет средний уровень распознавания по всем классам, придавая каждому классу одинаковый вес. Значение UAR находится

в диапазоне от 0 до 1. Для оценки производительности классификатора использовался метод перекрестной проверки по k-блокам (k-fold cross-validation). Подробно с метрикой оценки качества, а также схемой разбиения данных на блоки можно ознакомиться в [2].

Описание эксперимента

Одной из ключевых гипотез данного исследования является влияние скрытых состояний нижних уровней LSTM на итоговую точность классификации. Для проверки гипотезы использовались различные архитектуры сети с разным количеством слоев LSTM и числом скрытых нейронов. После чего анализировалось, как изменения в структуре модели влияет на результаты классификации.

Для проведения сравнительного анализа использовалось два вида вектора признаков, сформированных LSTM: 1) скрытое состояние последнего слоя и 2) конкатенация последних скрытых состояний, полученных на каждом слое. Это необходимо для проверки вышеупомянутой гипотезы.

Отдельное внимание уделено инициализации весов и смещений. Веса входов нейронной сети и скрытых состояний РНС инициализируются с помощью методов Ксавье (начальная установка весов нейронной сети, который сохраняет дисперсию сигналов на входе и выходе слоя, способствуя стабильному и быстрому обучению) и ортогональной инициализации (способ задания начальных весов РНС, при котором матрица весов формируется как ортогональная, что помогает сохранить стабильность градиентов при обучении глубоких рекуррентных моделей) соответственно.

Также в ходе экспериментов установлено, что модели с инициализацией смещений равных единице для забывающих гейтов и нулями для других слоев показывают заметное улучшение производительности по сравнению с моделями, в которых все смещения инициализируются одинаково (например, нулями или случайными значениями). Предполагается, что связано это с улучшением способности сети управлять забыванием важных временных зависимостей в данных.

Результаты экспериментов

В результате обучения моделей получены классификаторы, точность предсказаний которых при использовании тестового набора данных и вышеуказанной метрики качества достигала 32.10%.

В таблице 1 представлены результаты классификации для различных конфигураций модели (число и размер скрытых слоев, тип итогового вектора признаков.

Таблица 1 – Результаты классификации для различных вариантов РНС

Название	Число слоев	Число скрытых нейронов	Число параметров (данные с последнего слоя)	UAR, последний скрытый слой, %	Число параметров (конкатенация скрытых слоев)	UAR, конкатенация скрытых слоев, %
RNN-l1-h32	1	32	8 968	22,40		
RNN-l1-h64		64	26 120	26,04		
RNN-l1-h128		128	85 000	**31,38**		
RNN-l2-h32	2	32	17 416	23,11	17 672	25,20
RNN-l2-h64		64	59 400	27,08	59 912	28,84
RNN-l2-h128		128	217 096	31,58	218 120	**31,71**
RNN-l3-h32	3	32	25 864	23,96	26 376	23,96
RNN-l3-h64		64	92 680	29,30	93 704	26,24
RNN-l3-h128		128	349 192	**32,10**	351 240	32,03

И таблицы видно, что сконкатенированный вектор признаков, пусть и незначительно, но все же негативно влияет на результаты классификации, и более, того, усложняет архитектуру модели за счет увеличения числа параметров модели. Также из результатов, описанных в таблице 1 можно заключить, что по мере усложнения архитектуры LSTM (добавления числа скрытых слоев и увеличения числа скрытых нейронов) точность классификации увеличивается.

Вывод

В работе показано, что однонаправленные рекуррентные нейронные сети с долгосрочной краткосрочной памятью (LSTM) в их базовых конфигурациях могут использоваться для решения задач распознавания эмоций в речи. Также экспериментально доказана важность правильной инициализации весов и смещений, а также конфигурации гиперпараметров (число скрытых слоев РНС и число скрытых нейронов на каждом слое). Выполнена проверка гипотезы о влиянии скрытых состояний нижних слоев РНС на производительность модели в случае их конкатенации в итоговый вектор признаков. В дальнейшем предлагается попробовать улучшить предложенную архитектуру сети с помощью механизма внимания. Добавление механизма внимания потенциально может позволить модели сфокусироваться на наиболее информативных фрагментах временной последовательности, усиливая вклад ключевых моментов речи в распознавание эмоций и тем самым повышая точность классификации.

Список использованных источников:

1. Multimodal Emotion Recognition on RAVDESS Dataset Using Transfer Learning/ C. Luna-Jiménez, D. Griol, Z. Callejas, R. Kleinlein, J.M. Montero, F. Fernández-Martínez // Sensors. – 2021. – vol. 21. – pp. 1 – 29.

2. Краснопрошин Д. В., Вашкевич М. И. Метод распознавания эмоций в речевом сигнале с использованием машины опорных векторов и надсегментных акустических признаков // Доклады БГУИР. – 2024. – Т. 22. – №. 3. – С. 93-100.

3. Николенко, С., Кадурин, А., Архангельская, Е. Глубокое обучение – СПб.: Питер, 2019. – 480 с.

UDC 004.934.2+534.784

APPLICATION OF RECURRENT NEURAL NETWORKS WITH LONG SHORT-TERM MEMORY FOR SPEECH EMOTION RECOGNITION TASKS

Krasnoproshin D.V. PhD Student at the Department of Electronic Computing Facilities

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Vashkevich M.I. – Dr.Sc.

Annotation. The possibility of applying recurrent neural networks with long-term memory for classifying emotions in human speech is experimentally studied. Variants of classifier implementation based on recurrent networks with one, two and three hidden layers are presented. Mel-frequency cepstral coefficients (MFCCs) were used as initial speech features. A three-layer LSTM network showed the best classification results, with an accuracy metric (UAR) of 32%. Possible improvements to the model have also been proposed, which could potentially enhance the quality of the classification.

Keywords. Neural networks, deep learning, speech emotion recognition, recurrent neural networks, speech signal processing.

ЧАСЫ С БУДИЛЬНИКОМ НА БАЗЕ АППАРАТНОЙ ПЛАТФОРМЫ ARDUINO

Лобацевич С.С., Протасевич А.В., Бельский К.Ю. студенты гр. 350702

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Порхун М.И. – магистр. техн. наук

В рамках данной работы были реализованы часы с будильником на базе аппаратной платформы Arduino Uno. Для этого были использованы модуль реального времени DS3231, LCD-дисплей, кнопки управления, пьезодинамик и память EEPROM для сохранения настроек будильника. Реализованы функции для отображения времени, даты, температуры, а также для установки и активации будильника. Проверка работоспособности подтвердила корректность работы устройства.

Часы с будильником – устройство, функциями которого являются отображение текущего времени и даты, а также установка будильника на заданное время. Кроме того, некоторые модели оснащены встроенной подсветкой экрана для удобства использования в темноте.

Разработанное устройство позволяет отображать текущее время на LCD-дисплее и устанавливать будильник. Помимо того, устройство поддерживает функцию ручной настройки времени и даты. Управление устройством осуществляется посредством четырех кнопок. Часы работают автономно, сохраняя настройки после выключения [1].

Структурная схема устройства представлена на рисунке 1.

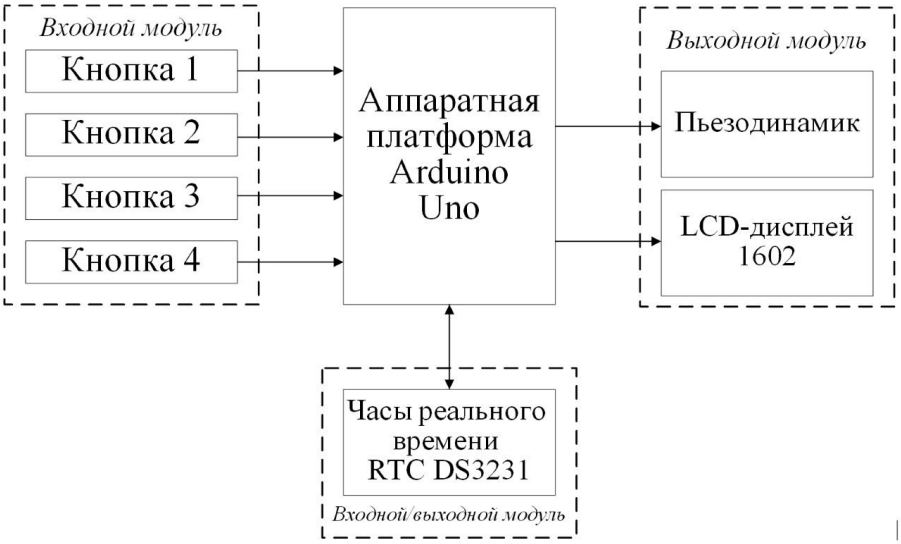


Рисунок 1 – Структура разработанного устройства

Основным функциональным модулем устройства является аппаратная платформа Arduino Uno [2]. Устройство включает в себя также модуль часов реального времени (RTC DS3231) [3], LCD-дисплей [4], кнопки управления, пьезодинамик. Все модули обеспечивают отображение времени, даты, температуры и работу будильника. Кнопки позволяют выбирать режимы работы устройства (настройка времени или будильника), изменять параметры («+»/«-») и сохранять их в память. При совпадении времени на часах и на будильнике активируется звуковой сигнал. Деактивация будильника происходит при нажатии на соответствующую кнопку.

Ниже приведен обобщенный алгоритм работы системы:

1. Инициализация устройства (подключение необходимых библиотек и переменных). Включение подсветки дисплея. Считывание сохраненных настроек будильника из EEPROM.

2. Выполнение основного цикла, в ходе которого считываются текущие значения времени и даты с RTC-модуля, а также отображаются актуальное время, дата, день недели и температура на LCD-дисплее. Также осуществляется проверка, установлен ли будильник, и в случае, если он активен, происходит его срабатывание.

3. Поэтапная настройка времени, даты и будильника. Настройка будильника происходит аналогично настройке времени за исключением выбора его включения/отключения. По окончании настройки новые значения сохраняются во встроенную EEPROM-память, и устройство выходит из режима редактирования. Значения времени и даты передаются обратно в RTC-модуль.

На дисплее устройства по умолчанию (рисунок 2) отображается текущая дата и время, а также температура.

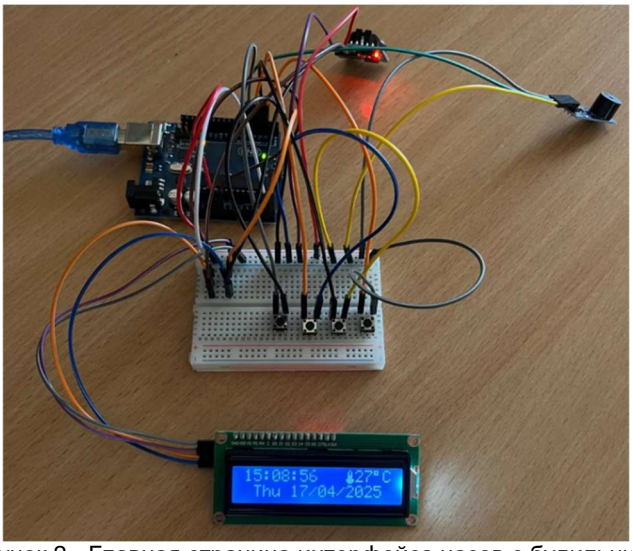
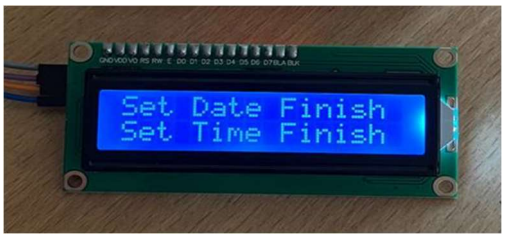


Рисунок 2 - Главная страница интерфейса часов-с будильником

Управление режимами работы устройства происходит следующим образом: при однократном нажатии на кнопку 1 происходит переключение между значениями времени (часы, минуты, секунды) и даты (день недели, число, месяц, год) и последующий вывод сообщения о завершении настроек (рисунок 4, *а*). Нажатие на кнопку 2 увеличивает текущее значение, а на кнопку 3 — уменьшает. Последующие нажатия на кнопку 4 вызывают функцию, аналогичную кнопке 1, за исключением того, что после выводится сообщение об установке или сбросе будильника (рисунок 4, в) и происходит возврат на главную страницу интерфейса, где отображаются нужные параметры. В случае успешной установки будильника на главной странице выводится символ в виде колокольчика (рисунок 4, *г*).



а)



б)



в)



г)

Рисунок 4 – Интерфейс будильника: *а*) отображение настроек времени; *б*) демонстрация страницы параметров будильника; *в*) вывод сообщения об успешной установке будильника; *г*) вид главной страницы с установленным будильником (показан символ в виде колокольчика)

В ходе работы разработаны часы с будильником на базе аппаратной платформы Arduino Uno. Устройство корректно отображает время, дату, температуру и поддерживает функцию установки будильника с сохранением настроек. Макетирование устройства подтвердило стабильную работу всех компонентов.

Список использованных источников:

1.Статья про модуль часов реального времени с будильником [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://marobotic.com/2023/12/09/real-time-clock-with-alarm-using-arduino-and-rtc-ds3231/?amp=1

2.Описание платформы Arduino Uno [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000066-datasheet.pdf

3.Описание часов реального времени DS3231 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ds3231.pdf

4.Описание экрана LCD-1602 с модулем I2C [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.handsontec.com/dataspecs/module/I2C_1602_LCD.pdf

УДК 004.032.26

ЗАВИСИМОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВХОДНЫХ И ВЫХОДНЫХ ДАННЫХ В МНОГОУРОВНЕВЫХ ГЕНЕРАТИВНО-СОСТЯЗАТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

Ковбаса Г.А.[1], аспирант-соискатель кафедры ЭВС

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники[1]
г. Минск, Республика Беларусь

Азаров И.С. – докт. техн. наук

Аннотация. Многоуровневые генеративные состязательные сети (multi-level GANs) позволяют поэтапно улучшать сгенерированные данные. Однако выход каждого уровня ГАН формирует промежуточное распределение, зависящее от исходной обучающей выборки. Ошибки или искажения в этих промежуточных распределениях могут усиливаться на последующих этапах, что приводит к деградации качества и разнообразия результатов. В данной статье рассматривается влияние формы и качества исходной выборки на распределения выходов нейросетей в многоуровневых ГАН, а также предлагаются методы компенсации каскадного искажения данных. Показано, что использование U-Net способствует сохранению локальных зависимостей и уменьшению искажения распределений, повышению реалистичности изображения, но в свою очередь сужает область распределения данных и разнообразие выходной выборки.

Ключевые слова. Нейронные сети, многоуровневые генеративные состязательные сети, нейросетевой коллапс, распределение данных.

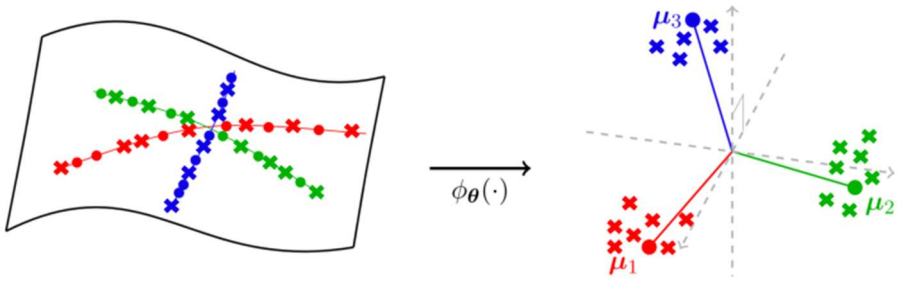
Генеративные состязательные сети (GAN) продемонстрировали высокую эффективность в синтезе изображений, аудио и текста. В многоуровневых архитектурах (каскадные или иерархические GAN) генерация происходит поэтапно: первый уровень создаёт заготовку, последующие уточняют и улучшают результат. Однако каждый уровень формирует собственное приближённое распределение данных, и ошибки могут накапливаться [1, 2].

Развитие генеративных моделей, в особенности GAN, сопровождается рядом системных ограничений, среди которых особое место занимает феномен нейросетевого коллапса — деградации способности модели к генерации новых, разнообразных и правдоподобных данных. Это состояние может быть следствием чрезмерной оптимизации, неадекватного распределения обучающих данных или неудачного взаимодействия между генератором и дискриминатором. Синтетические выборки, порождаемые самими генеративными моделями для дальнейшего обучения, также могут вызывать накопление искажений. Повторное обучение на таких данных ведет к сужению распределения, усилению доминирующих паттернов и исчезновению редких признаков.

Синтетические данные редко содержат уникальные события, аномалии, редкие сочетания признаков. Поэтому сеть теряет способность обнаруживать исключения, что особенно критично в медицине, безопасности, передовых научных исследованиях.

Искажения на каждом уровне могут усиливаться, особенно в условиях узких, несбалансированных или синтетических обучающих выборок. На практике коллапс можно визуализировать через метод главных компонент (рисунок 1) или t-SNE на последних скрытых слоях модели.

Рисунок 1 – Иллюстрация коллапса нейросети [3]



В состоянии коллапса:

1. все векторы одного класса скучены вместе, почти совпадают;
2. расстояния между классами равномерны и симметричны;
3. объекты вне этих кластеров ошибочно интерпретируются как ближайший класс.

Теоретическая основа зависимости распределений данных может выглядеть следующим образом:

$X \sim P_{data}$ — истинное распределение данных,
$G_1(z) \sim P_1$— распределение первого генератора,

$G_2(G_1(z)) \sim P_2$ — второго и так далее генератора. (1)

где P_1 слабо аппроксимирует P_{data}, тогда P_2 будет содержать ещё более выраженные искажения. Таким образом, если искажения переходят от слоя к слою, то наблюдается эффект distributional shift compounding [4].

В StackGAN [1] отмечается влияние качества первого уровня на детальность второго. В StyleGAN [5], несмотря на неглубокую иерархию, уровни латентного пространства контролируют ключевые аспекты распределения стиля. Проблемы усиливаются при обучении на данных, содержащих синтетические артефакты [6].

Методы компенсации и стабилизации распределений:

1. Смешивание с реальными данными. Реальные образцы вводятся на каждом уровне для коррекции распределения.
2. Auxiliary losses. Дополнительные функции потерь контролируют расстояние между промежуточными и реальными распределениями (например, KL-дивергенция).
3. Reprojection. Использование автоэнкодеров или регрессоров, возвращающих сгенерированные данные в пространство признаков исходного распределения.
4. Совместное обучение уровней. End-to-end fine-tuning всей цепочки позволяет компенсировать искажения ранних этапов [7].

В многоуровневых генеративных сетях зависимость выходных параметров от формы и полноты исходной выборки носит критический характер. Без соответствующих механизмов компенсации искажений возможно ухудшение качества генерации на каждом последующем уровне. Контроль распределения на промежуточных этапах необходим для предотвращения деградации модели и устойчивого обучения [8, 9].

В многоуровневых GAN, таких как MSGAN (Multi-Scale GAN) [10] и HIGAN (Hierarchical GAN) [11], проблема усугубляется тем, что каждая генерация зависит от предыдущих уровней. Ошибки и искажения, возникшие на низких уровнях, передаются по всей иерархии, снижая общую выразительность и достоверность изображений.

Современные методы оптимизации, такие как Adam, RMSProp и др., позволяют добиться быстрой сходимости. Однако это ускорение часто приводит к так называемому *overshooting* — быстрому закреплению на одном или нескольких модах распределения. В контексте GAN это приводит к неразнообразному выводу, а в случае синтетической переобученной выборки — забыванию моделью ключевых особенностей распределения [9].

Более устойчивыми оказываются модели, использующие регуляризацию, частичную оптимизацию или стохастическое семплирование на каждом уровне, как в HIGAN. Например, MSGAN внедряет шум и дискриминацию на каждом разрешении, позволяя нивелировать ошибки начальных слоев.

Одним из решений является внедрение U-Net генераторов в многоуровневые GAN. Такие архитектуры обеспечивают сквозные связи между уровнями разрешения, что позволяет сохранять важные признаки и избегать искажения на более высоких уровнях генерации. U-Net-подобные архитектуры решают эту проблему благодаря симметричным скип-соединениям, которые позволяют напрямую передавать многоуровневые признаки (features) с низких уровней сети (например, контуры, структура) на более высокие уровни (детали, текстура). Это даёт следующие преимущества:

1. Сохранение семантической согласованности: даже при деградации промежуточного вывода структура объекта (лицо, рука, объект сцены) восстанавливается на следующем уровне с учётом исходных признаков.
2. Снижение потерь в передаче информации между уровнями: т.к. данные из входа доступны напрямую, сеть не обязана повторно "восстанавливать" всё с нуля.
3. Стабильность распределения на выходе: прямой доступ к информации из исходного пространства уменьшает склонность к схлопыванию разнообразия (mode collapse) [7].

Использование U-Net в иерархических GAN позволило достичь лучшей консистентности изображений при генерации спутниковых изображений и медицинских снимков [12].

Применение U-Net-подобных генераторов в многоуровневых GAN показало свою эффективность, например, в архитектурах, объединяющих semantic-to-image и super-resolution фазы, а также в некоторых вариантах conditional GAN [11].

В отличие от каскадных GAN на основе традиционных генераторов, U-Net-подобные архитектуры позволяют сохранить и передать информацию из исходных данных напрямую на всех уровнях генерации. Благодаря наличию скип-соединений между энкодером и декодером, генератор может восстанавливать как глобальную структуру, так и локальные текстурные детали без необходимости полагаться исключительно на промежуточные представления предыдущих уровней. Это снижает вероятность накопления смещений в распределении и позволяет каждому уровню GAN действовать не только как трансформатор предыдущего вывода, но и как уточняющая модель с прямым доступом к изначальным признакам входа.

Присутсвуют также и недостатки у описанного подхода. U-Net в генераторе приводит к условной генерации, приближая $p_G(x)$ к $p(x|xin)$, а не к $p_{data}(x)$, что улучшает детальность, но снижает разнообразие, что продемонстрировано на рисунке 2 как более компактное и структурированное распределение GAN (with U-Net).

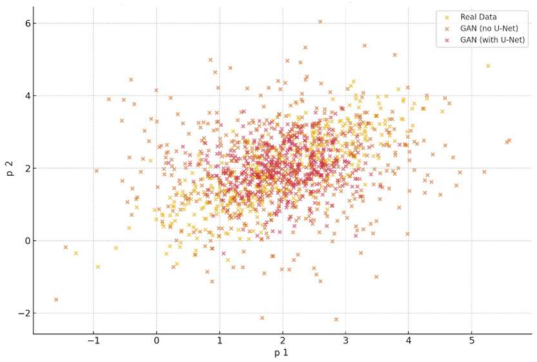


Рисунок 2 – Визуализация распределения реальных и синтетических данных, где GAN (no U-Net) — более рассеянное и шумное распределение, демонстрирующее низкую локальную согласованность

Без U-Net генератор лучше приближает глобальное распределение, но может страдать от артефактов и коллапса мод. Для оценки близости $p_G(x)$ к $p_{data}(x)$, можно использовать метрики:

1. Fréchet Inception Distance (FID) — чувствителен к различиям в высокоуровневых признаках.
2. Kernel Inception Distance (KID) — устойчив к размерам выборки.
3. JS-дивергенция, KL-дивергенция — в случае известной плотности.
4. t-SNE / UMAP визуализации распределений признаков.

Анализ закономерностей распределения данных в Conditional Adversarial Networks [13] показал, что при использовании U-Net в генераторе, распределение выходов ближе к распределению реальных данных по FID, но область распределения сужается: модель начинает «залипать» на шаблонных генерациях и хуже покрывает малораспространённые моды. Исследования указывают, что распределение выходных данных GAN часто имеет меньшую энтропию, чем распределение обучающей выборки [8]. Это свидетельствует о потере разнообразия и предсказуемости результатов. Одной из причин является несоответствие между распределением латентного пространства (обычно нормального или равномерного) и сложной структуры пространства данных [8].

Оптимальное решение — комбинирование U-Net архитектуры с многоуровневым стохастическим шумом и прогрессивным обучением, как в HiGAN, чтобы сохранить как структуру, так и разнообразие. Также эффективно будет использование методов imitation learning или reinforcement learning с применением методов оценки распределения данных, таких как log-likelihood, как метрики оценки реалистичности полученного изображения в процессе прогрессивного обучения [14]. За основу оценки log-likelihood берется приближенный метод AIS, annealed importance sampling, который может с достаточной точностью аппроксимировать оценку для GAN сетей [14]. Используя оценку AIS можно оценивать не только соответствие распределения выходных данных исходной выборке, но и реалистичность изображения в целом, что выгодно отличает ее от метрики FID.

Список использованных источников:

1. *Zhang H., Xu T., Li H., et al. StackGAN: Text to Photo-realistic Image Synthesis with Stacked Generative Adversarial Networks // Proc. IEEE Int. Conf. Comput. Vis. – 2017. – P. 5907–5915.*
2. *Wang T.-C., Liu M.-Y., Zhu J.-Y., et al. High-resolution image synthesis and semantic manipulation with conditional GANs // Proc. IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit. – 2018. – P. 8798–8807.*
3. *Li X., Liu S., Zhou J., Lu X., Fernandez-Granda C., Zhu Z., Qu Q. Principled and Efficient Transfer Learning of Deep Models via Neural Collapse // Transactions on Machine Learning Research. – 2024. – Vol. 5. – Art. no. 537. – DOI: 10.55464/tmlr.v5i.537.*
4. *Ramesh A., Pavlov M., Goh G., et al. Zero-shot Text-to-Image Generation // Proc. Int. Conf. Mach. Learn. – 2021.*
5. *Karras T., Laine S., Aila T. A Style-Based Generator Architecture for Generative Adversarial Networks // Proc. IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit. – 2019. – P. 4401–4410.*
6. *Carlini N., Mishra P., Shumailov I., et al. Poisoning and Distillation: A Synthesis of Neural Network Poisoning Attacks [Электронный ресурс] // arXiv preprint arXiv:2310.00065. – 2023. – Режим доступа: https://arxiv.org/abs/2310.00065 – Дата доступа: 01.03.2025.*
7. *Esser P., Sutter E., Ommer B. A Variational U-Net for Conditional Appearance and Shape Generation // Proc. IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit. – 2018. – P. 8857–8866.*
8. *Goodfellow I., Pouget-Abadie J., Mirza M., et al. Generative adversarial nets // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2014. – Vol. 27.*
9. *Arjovsky M., Bottou L. Towards Principled Methods for Training Generative Adversarial Networks [Электронный ресурс] // arXiv preprint arXiv:1701.04862. – 2017. – Режим доступа: https://arxiv.org/abs/1701.04862 – Дата доступа: 03.03.2025.*
10. *Karnewar A., Wang O. MSG-GAN: Multi-scale Gradient GAN for Stable Image Synthesis [Электронный ресурс] // arXiv preprint arXiv:2010.02517. – 2020. – Режим доступа: https://arxiv.org/abs/2010.02517 – Дата доступа: 03.03.2025.*
11. *Huang R., Zhang H., Liu Y., Ma J. HiGAN: Hierarchical GAN for Conditional Image Generation [Электронный ресурс] // arXiv preprint arXiv:2204.08599. – 2022. – Режим доступа: https://arxiv.org/abs/2204.08599 – Дата доступа: 10.03.2025.*
12. *Oktay O., Schlemper J., Le Folgoc L., Lee M., Heinrich M., Misawa K., Mori K., McDonagh S., Hammerla N., Kainz B., Glocker B., Rueckert D. Attention U-Net: Learning Where to Look for the Pancreas [Электронный ресурс] // arXiv preprint arXiv:1804.03999. – 2018. – Режим доступа: https://arxiv.org/abs/1804.03999 – Дата доступа: 10.03.2025.*
13. *Isola P., Zhu J., Zhou T., Efros A. A. Image-to-Image Translation with Conditional Adversarial Networks [Электронный ресурс] // arXiv preprint arXiv:1611.07004. – 2017. – Режим доступа: https://arxiv.org/abs/1611.07004 – Дата доступа: 20.03.2025.*
14. *Kovbasa, G. Evaluation Metrics and Multi-level GAN Approach for Medical Images = Метрики оценки и применение многоуровневых GAN для медицинских изображений / G. Kovbasa // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS) : сборник научных трудов / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. В. Голенков [и др.]. – Минск, 2024. – Вып. 8. – С. 311–318.*

UDC 004.032.26

DEPENDENCE OF THE DISTRIBUTION OF INPUT AND OUTPUT DATA IN MULTI-LEVEL GENERATIVE ADVERSARIAL NETWORKS

Kovbasa G.A.[1]

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics[1]*, Minsk, Republic of Belarus*

Azarov E.S. – Doctor of Technical Sciences

Annotation. Multi-level Generative Adversarial Networks (GANs) refine data generation across sequential stages, where each level forms an intermediate distribution influenced by the original dataset. Distortions in these distributions may accumulate, reducing the final output's quality and diversity. This article examines how the structure and quality of training data affect these intermediate outputs and suggests techniques to mitigate cascading distortion. The use of U-Net-based architectures is shown to preserve local features and enhance realism by stabilizing distribution shifts. However, this approach can also limit the distribution domain, reducing the variety of generated data.

Keywords. Neural networks, multi-level generative adversarial networks, neural network collapse, data distribution.

УДК 004.934.2

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИБЛИОТЕКИ OPENSMILE ДЛЯ АНАЛИЗА ГОЛОСОВЫХ СИГНАЛОВ ПАЦИЕНТОВ С БАС

Михневич А.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Вашкевич М.И. – доктор техн. наук

Аннотация. Боковой амиотрофический склероз (БАС) – тяжелое нейродегенеративное заболевание, затрагивающее в том числе речевую функцию. Целью настоящей работы является извлечение и анализ акустических признаков речи с помощью библиотеки openSMILE, направленный на выявление различий между голосовыми сигналами здоровых лиц и пациентов с БАС. Для анализа использовались записи из базы Minsk2020_ALS. Проведен статистический анализ с коррекцией множественных сравнений (FDR), по итогам которого были выделены значимые речевые маркеры, потенциально полезные для задач автоматической диагностики.

Ключевые слова: БАС, openSMILE, речевые признаки, акустический анализ, статистика, Minsk2020, FDR-коррекция.

Введение

Боковой амиотрофический склероз (БАС, англ. ALS – Amyotrophic Lateral Sclerosis) – прогрессирующее заболевание, поражающее двигательные нейроны, включая те, что отвечают за артикуляцию речи. У значительной части пациентов наблюдается дизартрия, выражающаяся в изменении тембра, частоты, интонации и других параметров речи. Ранняя диагностика БАС исключительно важна, поскольку позволяет своевременно начать поддерживающую терапию.

Анализ акустических признаков речи в последнее десятилетие получил широкое распространение благодаря развитию алгоритмов цифровой обработки сигналов и машинного обучения. Библиотека openSMILE (Open-Source Media Interpretation by Large feature-space Extraction) является одним из наиболее мощных инструментов в данной области [1].

Целью исследования было продемонстрировать, каким образом можно автоматически извлечь и проанализировать речевые признаки, отличающие здоровых испытуемых от пациентов с БАС, используя openSMILE и данные из речевой базы Minsk2020_ALS [2].

Методы и материалы

В исследовании использовались речевые записи из базы Minsk2020_ALS, включающей записи пациентов с подтверждённым диагнозом БАС (31 диктор) и здоровых (33 диктора). Записи были стандартизированы по длительности и формату (16 кГц, WAV).

Для анализа применялась библиотека openSMILE, с использованием конфигурации ComParE_2016, которая обеспечивает извлечение 6373 акустических признаков. Программа реализована на языке Python и включает следующие ключевые этапы:

1. Извлечение признаков из каждого аудиофайла с использованием библиотеки openSMILE.
2. Сохранение и предварительная обработка данных.
3. Статистический анализ по критерию Манна – Уитни, используемый для оценки различий между двумя независимыми выборками, измеренного количественно.
4. FDR – коррекция множественного сравнения.
5. Выделение значимых признаков по скорректированным p-значениям.
6. Визуализация значимых признаков в виде диаграмм.

Коррекция множественных сравнений проводилась с использованием метода Бенжамини – Хохберга (FDR – False Discovery Rate), который контролирует долю ложноположительных результатов среди всех обнаруженных значимых различий. Это особенно важно при анализе большого количества признаков, где без коррекции высока вероятность ошибочного признания признака значимым. Пороговое значение *p* было установлено на уровне 0,0001, что позволило отобрать только действительно значимые признаки. Формула метода FDR приведена ниже:

$$P_{(i)} \leq \frac{i}{m} \cdot a \,, \quad (1)$$

где *P(i)* – *i*-е по величине *p*-значение; *m* – общее количество тестов; *a* – уровень значимости.

Анализ результатов

Всего было проанализировано 6373 признаков. FDR – коррекции отобрано 10 значимых признаков, статистически отличающихся между группами, а именно:

- audSpec_Rfilt_sma[6]_lpc0;
- audSpec_Rfilt_sma[6]_lpc1;
- audSpec_Rfilt_sma[6]_lpc2;
- audSpec_Rfilt_sma[6]_peakRangeAbs;

– audSpec_Rfilt_sma[7]_lpc1;
– audSpec_Rfilt_sma[17]_lpc0;
– audSpec_Rfilt_sma[17]_lpc1;
– audSpec_Rfilt_sma[17]_lpc2;
– mfcc_sma[14]_range;
–
pcm_fftMag_fband1000-4000_sma_lpc1.

По результатам анализа сформированы таблицы с признаками и их ящиковые диаграммы.

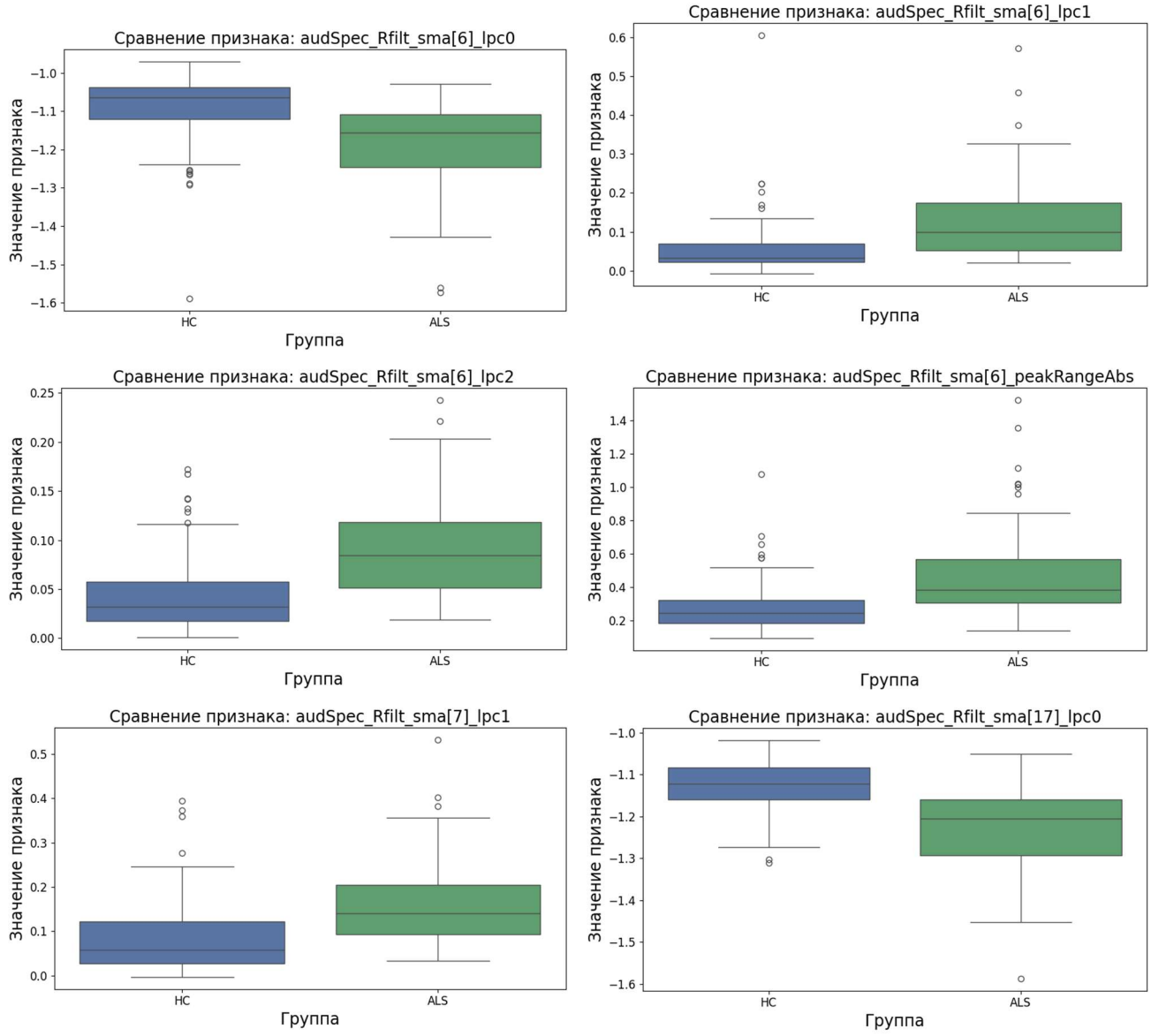
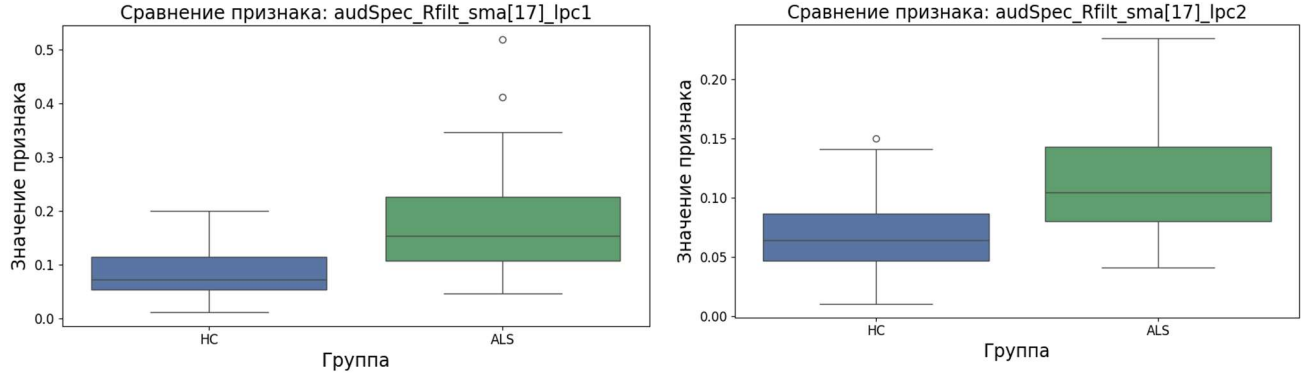


Рисунок 1 – Отобранные признаки после FDR – коррекции



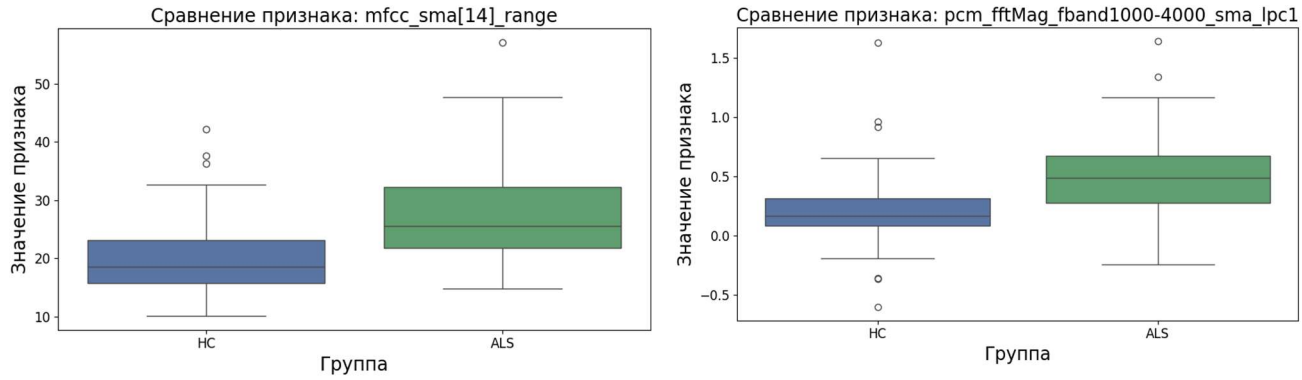


Рисунок 2 – Отобранные признаки после FDR – коррекции

На построенных ящиковых диаграммах (рисунки 1 и 2) представлено распределение значений отобранных голосовых признаков в двух группах: здоровые пациенты (HC) и пациенты с БАС (ALS). Большинство признаков демонстрируют статистически значимые различия между группами, что подтверждено FDR-коррекцией ($p < 0.0001$). Признаки mfcc_sma[14]_range и pcm_fftMag_fband1000-4000_sma_lpc1 могут служить наиболее чувствительными биомаркерами речевых нарушений при БАС. Другие, несмотря на менее выраженные различия, могут быть полезны как дополнительные стабильные признаки при построении модели классификации или мониторинга болезни.

В данной работе использовался автоматизированный подход к анализу голосовых данных пациентов с БАС и здоровых пациентов. Для оценки полученных результатов было проведено сопоставление с методологией и выводами работы [3], в которой также рассматривалась задача автоматического детектирования БАС по акустическим характеристикам речи.

В исследовании [3] также использовалась библиотека OpenSMILE с конфигурацией ComParE13, и отбор признаков осуществлялся с использованием методов машинного обучения – таких как рекурсивное исключение признаков (RFE), машины опорных векторов (SVM) и метод случайного леса (Random Forest). Сравнение с результатами данного исследования показывает, что, несмотря на различие в конкретных названиях признаков, имеется содержательное пересечение по группам параметров. Таким образом, наиболее выраженное пересечение наблюдается в области Мел–кепстральных коэффициентах частот (MFCC) и частотных полос, что подтверждает стабильность этих признаков в разных выборках и методологиях.

Несмотря на различия в подходах и версиях конфигурации ComParE (2013 и 2016), оба исследования подчеркивают значимость спектральных и частотно – временных признаков речи в диагностике БАС. Частичное совпадение в содержательных категориях признаков подтверждает обоснованность нашего подхода и подчеркивает потенциал библиотеки OpenSMILE как универсального инструмента в акустической биомедицинской аналитике.

Заключение

В ходе исследования показано, что автоматическое извлечение речевых признаков с использованием openSMILE позволяет эффективно выявлять различия между здоровыми испытуемыми и пациентами с БАС. Полученные признаки могут быть использованы как основа для построения алгоритмов ранней диагностики или встраивания в системы поддержки клинических решений.

Список использованных источников:

1. OpenSMILE 3.0 [Электронный ресурс] / audEERING - Режим доступа: https://www.audeering.com/research/opensmile/ – Дата доступа: 18.04.2025.

2. Minsk2020_ALS_database [Электронный ресурс] / GitHub - Режим доступа: https://github.com/Mak-Sim/Minsk2020_ALS_database – Дата доступа: 17.04.2025.

3. Norel R. et al. Detection of amyotrophic lateral sclerosis (ALS) via acoustic analysis // Proceedings of the Annual Conference of the International Speech Communication Association, INTERSPEECH. – 2018. – P. 377-381.

UDC 004.934.2

ANALYSIS AND EXTRACTION OF SPEECH FEATURES IN HEALTHY INDIVIDUALS AND PATIENTS WITH ALS USING THE OPENSMILE LIBRARY

Mikhnevich A.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Vashkevich M.I. – PhD

Annotation. Amyotrophic lateral sclerosis (ALS) is a severe neurodegenerative disease that also affects speech function. The aim of this work is to extract and analyze acoustic features of speech using the openSMILE library, aimed at identifying differences between speech signals of healthy subjects and patients with ALS. Records from the Minsk2020 database were used for the analysis. Statistical analysis with multiple comparison correction (FDR) was performed, based on the results of which significant speech markers were identified that are potentially useful for automatic diagnostics.

Keywords: ALS, openSMILE, speech features, acoustic analysis, statistics, Minsk2020, FDR correction.

ТЕХНОЛОГИИ РАСПОЗНАНИЯ РЕЧИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВИДЕОДАННЫХ

Макар Д.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Вашкевич М.И. – доктор тех. наук

Аннотация. В работе описаны ключевые этапы обработки видеоданных в системах визуального распознавания речи. Рассмотрены различные подходы к построению таких систем, которые имеют большой потенциал для применения в промышленных условиях, биометрической идентификации и для помощи людям с нарушением речевого аппарата.

Введение.

Исследование посвящено подходу к распознанию речи на основе комплексного анализа видеоданных. В отличие от традиционных методов распознавания речи, предлагаемый фокусируется на визуальных параметрах речи – динамике артикуляции, мимике и движениях лицевых мышц. Актуальность разработки альтернативных методов распознавания речи обусловлена ограничениями систем, использующих только аудиоданные (англ. *ASR – automatic speech recognition*). Как отмечается в [1], эффективность классических ASR-систем значительно снижается при уровне шума выше 15 дБ, что делает их непригодными для работы в промышленных условиях или общественных пространствах.

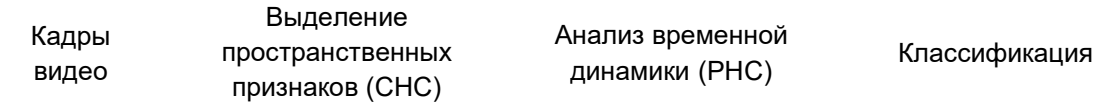
Визуальное распознание речи (англ. *VSR – visual speech recognition*) – метод, позволяющий распознавать речь по движениям губ без использования аудиосигнала. Такие системы особенно необходимы для распознавания речи в условиях акустических шумов, для помощи людям с нарушением речевого аппарата и в системах биометрической идентификации [2].

Структура системы визуального распознавания речи.

Типовая система VSR выделяет из входной видеопоследовательности либо область лица, либо изолированную область рта, после чего обрабатывает их при помощи сверточной нейронной сети (СНС) с целью извлечения признаков. На заключительном этапе признаки, полученные в СНС, классифицируются либо на уровне отдельных визем, либо на уровне слов при помощи рекуррентной нейронной сети (РНС), либо при помощи нейронной сети с архитектурой Transformer.

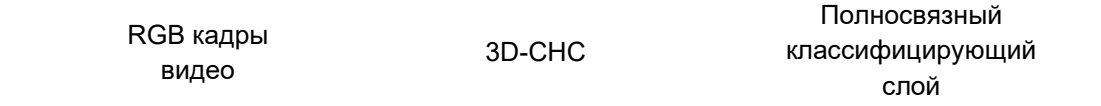
На рисунке 1, представлена схема типовой VSR, включающая три ключевых этапа:

1. Выделение пространственных признаков при помощи СНС.
2. Анализ временной динамики признаков (т.е. выявление изменений в положении губ и лицевых мышц между кадрами) при помощи РНС.
3. Классификация – интерпретация извлечения признаков для распознавания речевых единиц.



– Рисунок 1 – Типовая схема системы VSR –

Альтернативным образом VSR система может быть построена при помощи нейронной сети с трехмерной сверточной архитектурой (3D-СНС). На рисунке 2, представлена обобщенная структура системы VSR-системы на основе 3D-СНС.



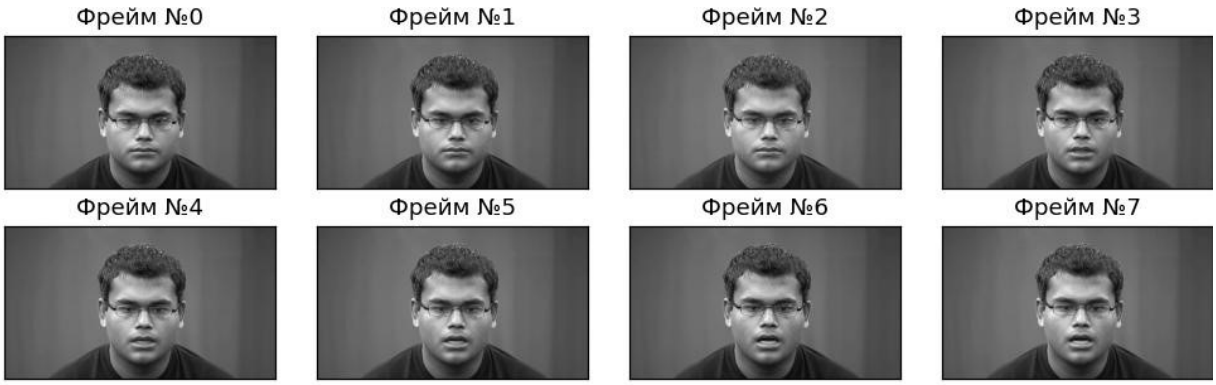
– Рисунок 2 – Структура системы VSR на основе 3D-СНС –

Использование трехмерных сверточных слоев позволяет эффективно извлекать пространственно-временные признаки из видео, что критично важно для анализа динамики артикуляции. Как видно из схемы, входные данные (RGB-кадры) последовательно обрабатываются слоями 3D-свертки, что обеспечивает сохранение временной зависимости между кадрами.

Практические аспекты построения систем визуального распознавания речи.

В данном разделе рассмотрены некоторые практические аспекты построения и обучения системы VSR. В качестве примера будет использован набор данных AVLetters2 [3]. Это набор коротких видео, где 5 дикторов на камеру произносят одну из 26 букв английского алфавита слова (каждый диктор произносит каждую букву 7 раз). На рисунке 3 показан пример начальных фреймов видео, на котором один из дикторов произносит букву «А».

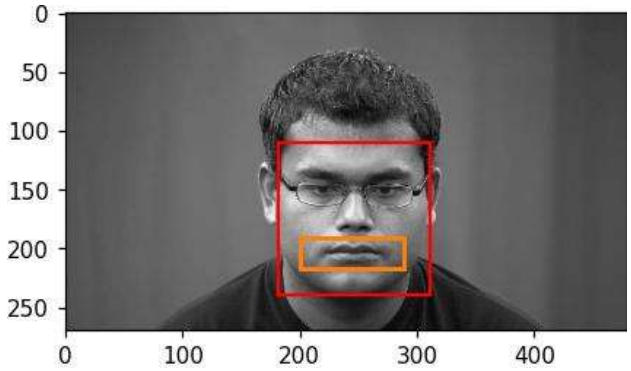
–



– Рисунок 3 – Пример кадров видеоизображения из базы AVLetters2 (бука «А»)

В системах визуального распознавания речи применяются разные стратегии выделения регионов интереса на видео: 1) захват всего лица (включая щеки, подбородок, нос) и 2) захват только области губ. Системы, которые работают только с областью губ также называют автоматизированными системами чтения по губам.

В реальных системах для предобработки видеоданных используются специальные библиотеки, как, например, Dlib [4]. На рисунке 4 представлен видеокадр изображения на котором при помощи метода dlib.get_frontal_face_detector() выделена область лица (красная рамка). Выделенную рамку лица также можно далее обработать детектором ключевых точек лица с целью выделения области губ. Для этого использовался метод dlib.shape_predictor(), результат обработки также показан на рисунке 4 (оранжевая рамка).



– Рисунок 4 – Пример распознавания области лица и губ с использованием библиотеки Dlib

Выводы и заключение

Исследование демонстрирует значительный потенциал мультимодального анализа видеоданных для совершенствования технологий распознания речи. Рассмотренные методы, основаны на анализе визуальных параметров речи, таких как динамика артикуляции и мимика и позволяют преодолеть ключевые ограничения традиционных ASR-систем, особенно в условиях высокого уровня шума. Использование 3D-CHC и алгоритмов трекинга ключевых точек обеспечивает высокую точность обработки пространственно-временных признаков, что открывает новые возможности для применения технологии в промышленных условиях, системах биометрической идентификации и помощи людям с нарушением речевого аппарата.

Таким образом, разработка и внедрение мультимодальных подходов представляет собой перспективное направление в области искусственного интеллекта и обработки естественного языка, способное значительно улучшить качество и доступность речевых технологий.

Список использованных источников:

1. Multimodal Speech Recognition Benchmarking in Noisy Environments / Y. Zhou, X. Li, H. Zhang, J. Wu // IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing (TASLP), 2022. – Vol. 30. – P. 2581–2593.

2. Petridis S. et al. End-to-end audiovisual speech recognition // IEEE intern. conf. on acoustics, speech and signal processing (ICASSP). – 2018. – P. 6548-6552.

3. Cox S. et al. The challenge of multispeaker lip-reading. // Proceedings of the International Conference on Auditory-Visual Speech Processing (AVSP). – 2008. – P 179 - 184.

4. Dlib C++ library. URL:https://dlib.net/ (дата обращения 16.04.2025)

МОДЕЛИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ОПЕРАТИВНЫХ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Деменковец Д.В., Петровская В.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Ярмолик В.Н. – д.т.н., профессор

В работе представлены описания математических моделей неисправностей взаимного влияния ОЗУ в которой учувствуют две ячейки памяти. Также описывается характерное поведение ячеек памяти при данных неисправностях.

Быстрый рост объемов памяти, в первую очередь оперативной, привел к значительному уплотнению их запоминающих элементов. В зависимости от технологических особенностей производства появляются как классические, так и новые, современные типы, и разновидности физических дефектов. Для аналитического описания неисправного поведения ячеек или дефектов памяти применяются математические модели, которые описывают физические неисправности запоминающего устройства (ЗУ).

Первые модели неисправностей ЗУ, так называемые классические, были предложены более 40 лет назад. К ним относят неисправности, затрагивающие одну ячейку (константные, переходные), две и более ячеек [1,2]. Особо отмечают неисправности, затрагивающие две и более ячеек памяти, в силу достаточной сложности их обнаружения и диагностирования.

К классическим неисправностям в которых учувствуют две ячейки относят неисправности взаимного влияния (coupling fault - CF) [3]. В данной неисправности одна ячейка выступает в роли влияющей (aggressor cell), с адресом *i*, вторая выступает в роли зависимой (victim cell) имеет адрес *j*. Другими словами, одна ячейка имеет роль агрессора, и вызывает изменение логического состояния ячейки жертвы. Различают три типа неисправностей взаимного влияния: инверсные неисправности взаимного влияния, неисправности взаимного влияния прямого действия, статические неисправности взаимного влияния.

Инверсные неисправности взаимного влияния (inverse coupling faults – CFin). При данной неисправности изменение значения ячейки агрессора вызывает инвертирование значения ячейки жертвы. Возможны четыре вида неисправностей CFin: ^(↑, $\overline{bj}$), ^(↓, $\overline{bj}$), ᵛ(↑, $\overline{bj}$), ᵛ(↓, $\overline{bj}$). Символ ^ и символ ᵛ задают взаимное расположение ячейки агрессора и ячейки жертвы. Первый символ ^ означает, что ячейка с меньшим адресом влияет на ячейку с большим адресом (i < j), а символ ᵛ используется в случае, когда адрес ячейки агрессора больше адреса ячейки жертвы (i > j).

Неисправности взаимного влияния прямого действия (idempotent coupling faults – CFid). При изменении значения ячейки агрессора с адресом *i*, происходит принудительная установка определенного логического значения 0 или 1 в ячейке жертве с адресом *j*. Возможны восемь неисправностей прямого действия: ^(↑,0), ^(↑,1), ^(↓,0), ^(↓,1), ᵛ(↑,0), ᵛ(↑,1), ᵛ(↓,0) и ᵛ(↓,1).

Статические неисправности взаимного влияния (state coupling faults– CFst). Переход ячейки жертвы в какое-либо состояние возможен только при определенном значении ячейки агрессора. Возможно восемь неисправностей CFst: ^(0,0), ^(0,1), ^(1,0), ^(1,1), ᵛ (0,0), ᵛ(0,1), ᵛ(1,0) и ᵛ(1,1).

Однако в настоящее время в силу значительного увеличения объемов оперативной памяти и структурного расположения запоминающих элементов проявляются новые типы неисправностей взаимного влияния и возникает необходимость их описания с помощью математических моделей [4].

К таким неисправностям относят:

- нарущающие неисправности взаимного влияния;
- переходные неисправности взаимного влияния;
- неисправности взаимного влияния типа разрушающая запись;
- неисправности взаимного влияния типа разрушающее чтение;
- неисправность взаимного влияния типа некорректное чтение;
- неисправность взаимного влияния типа ложное разрушающее чтение.

Нарушающие неисправности взаимного влияния (disturb cell coupling Faults – CFds) характеризуются переходом состояния ячейки жертвы при применение любой операции чтения или записи к ячейке агрессору, что «пробуждает» зависимую ячейку, заставляя её сделать определённый переход. Например, неисправность (r0, ↑), характеризуется тем, что чтение значения нуля из ячейки агрессора приводит к переходу состояния ячейки жертвы из нуля в единицу. В случае неисправности (↑,0), переход состояния ячейки агрессора из нуля в единицу устанавливает значение нуля в ячейке жертве.

Возможны 24 неисправности CFds: восемь, связанных с операцией чтения, ᵛ(r0, ↑), ᵛ(r0, ↓), ᵛ(r1, ↑), ᵛ(r1, ↓), ^(r0, ↑), ^(r0, ↓), ^(r1, ↑), ^(r1, ↓) (отображены на рисунке 1 без учета физического расположения ячеек агрессора и жертвы), и шестнадцать, связанных с операцией записи. Восемь для непереходных: ᵛ(w0, ↑), ᵛ(w0, ↓), ᵛ(w1, ↑), ᵛ(w1, ↓), ^(w0, ↑), ^(w0, ↓), ^(w1, ↑), ^(w1, ↓). Для случая переходной записи, возможно восемь неисправностей данного типа: ^ (↑,0), ^(↑,1), ^(↓,0), ^(↓,1), ᵛ(↑,0), ᵛ(↑,1), ᵛ(↓,0) и ᵛ(↓,1)).

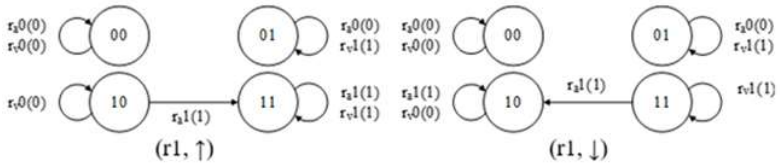


Рисунок 1 – Диаграмма состояний ячеек памяти, связанных нарушающей неисправностью взаимного влияния

Переходные неисправности взаимного влияния (transition coupling faults - CFtr) характеризуются невозможностью переходной записи состояния зависимой ячейки при определенном состоянии ячейки агрессора. Например для неисправности (0, !0w1) значение нуля в ячейке агрессоре, приводит к невозможности записи состояния из нуля в единицу ячейки жертвы. Знак «!» в описании неисправности обозначает невозможность выполнения операции переходной записи в ячейку. Возможны восемь неисправностей CFtr: ∨(0, !0w1), ∨(1, !0w1), ∨(0, !1w0), ∨(1, !1w0), ^(0, !0w1), ^(1, !0w1), ^(0, !1w0), ^(1, !1w0).

Неисправности взаимного влияния типа разрушающая запись (write destructive coupling faults - CFwd) характеризуется тем, что запись без изменения значения, примененная к ячейке жертве, инвертирует эту ячейку, при условии, что ячейка агрессор находится в определенном состоянии. Например, неисправность (0, 0w0=1) обозначает, что в случае если значение ячейки агрессора равно нулю, операция записи в ячейку жертву подтверждающего значения нуля приводит к установке значения единицы в этой ячейке. Возможны восемь неисправностей CFwd: ∨(0, 0w0=1), ∨(1, 0w0=1), ∨(0, 1w1=0), ∨(0, 1w1=0), ^(0, 0w0=1), ^(1, 0w0=1), ^(0, 1w1=0), ^(0, 1w1=0).

Неисправности взаимного влияния типа разрушающее чтение (read destructive coupling faults - CFrd) характеризуются тем, что операция чтения, примененная к ячейке жертве, вызывает инверсию и возвращает измененное значение в случае, если ячейка агрессор была в определенном состоянии. Например, неисправность (0, 0r0=1,1) обозначает, что если ячейка агрессор находилась в состоянии нуля, и ячейка жертва также находилась в состоянии нуля, то операция чтения из ячейки жертвы того же значения нуля, приводит к изменению значения на единицу, затем при последующем чтении из этой ячейки будет возвращено неверное значение единицы. Также возможны восемь неисправностей: ∨(0, 0r0=1,1), ∨(1, 0r0=1,1), ∨(0, 1r1=0,0), ∨(0, 1r1=0,0), ^(0, 0r0=1,1), ^(1, 0r0=1,1), ^(0, 1r1=0,0), ^(0, 1r1=0,0).

Неисправность взаимного влияния некорректного чтения (incorrect read coupling faults – CFir). Данные неисправности характеризуются тем, что операция чтения, примененная к ячейке жертве, не вызывает ее перехода, но возвращает некорректное значение при последующем чтении, в случае если ячейка агрессор была в определенном состоянии. Например, неисправность (0, 0r0=0,1) обозначает, что если ячейка агрессор находилась в состоянии нуля, и ячейка жертва также находилась в состоянии нуля, то операция чтения из ячейки жертвы того же значения нуля, не приводит к изменению значения, но при последующем чтении из этой ячейки будет возвращено неверное значение единицы. Возможны восемь неисправностей данного типа: ∨ (0, 0r0=0,1), ∨(1, 0r0=0,1), ∨(0, 1r1=1,0), ∨(0, 1r1=1,0), ^(0, 0r0=0,1), ^(1, 0r0=0,1), ^(0, 1r1=1,0), ^(0, 1r1=1,0).

Неисправность взаимного влияния типа ложного деструктивного чтения (deceptive read destructive coupling faults - CFdrd). Данные неисправности характеризуются тем, операция чтения, примененная к ячейке жертве, инвертирует ее значение, при этом последующая операция чтения, возвращает первоначальное значение, при условии определенного состояния ячейки жертвы. Возможны восемь неисправностей данного типа: ∨(0, 0r0=1,0), ∨(1, 0r0=1,0), ∨(0, 1r1=0,1), ∨(0, 1r1=0,1), ^(0, 0r0=1,0), ^(1, 0r0=1,0), ^(0, 1r1=0,1), ^(0, 1r1=0,1).

В итоге, на основе описанных моделей неисправностей взаимного влияния могут быть описаны модели более сложные модели неисправностей, в которых учувствует более двух ячеек запоминающих устройств. Например, такими сложными неисправностями являются модели кодочуувствительные неисправности и связные неисправности (linked fauts) [5].

Список использованных источников:

1. Goor A. J. Testing Semiconductor Memories: Theory and Practice / A. J. Goor. – Chichester, UK : John Wiley & Sons, 1991. – 536 p.

2. Goor, A.J. Functional Memory Faults: A Formal Notation and a Taxonomy / A.J. Goor, Z. Al–Ars // In Proceedings 18th International IEEE VLSI Test Symposium (VTS'00) IEEE Computer Society. – Montreal, Canada, 2000. – P. 281–289.

3. Ярмолик, В. Н. Контроль и диагностика вычислительных систем : [моно-графия] / В. Н. Ярмолик. – Минск : Бестпринт, 2019. – 387 с. : ил. 75.

4. Memory fault models and testing by Abhilash Kaushal. June 29, 2015 [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: https://www.edn.com/memory-fault-models-and-testing/ Дата доступа: 27.03.2024

5. Формальная модель описания и условия обнаружения связных неисправностей взаимного влияния запоминающих устройств / В. Н. Ярмолик [и др.] // Информатика. – 2023. – № 4 (20). – С. 7–23.

УДК 004.021:621.397.33

МЕТОД СКАНИРОВАНИЯ ПОТОКА ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ

Русакович Е.С., Деменковец Д.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Леванцевич В.А. – старший преподаватель

Аннотация. Описывается метод сканирования потоков движущихся объектов, алгоритм формирования изображения. Представлены результаты обработки видеопотоков, записанного предварительно и в реальном времени.

Ключевые слова. Сканирование, скорость, панорамный кадр, частота кадров, полоса пикселей.

Первые сканеры движения появились ещё в 1958 году в качестве радаров контроля скорости, для детектирования нарушений правил дорожного движения. Они также используются и в настоящее время. Сканирующие камеры также используются в железнодорожном транспорте, производстве средств гигиены, шинной промышленности, производстве аккумуляторов, индустрии интегральных микросхем и других промышленных производствах.

Описанный метод способен решать задачу сканирования различных потоков движущихся объектов, что обеспечивает его универсальность. Сам процесс сканирования заключается в выделения полосы пикселей сенсора камеры, их обработки и последовательном соединении для получения панорамного кадра, что является достаточно сложной задачей, как с точки зрения памяти, так и расчётов. Учитывая эти особенности, возможным вариантом вычислительного устройства представляется одноплатный компьютер Raspberry Pi [1].

Результат работы метода заключается в получении панорамного кадра, на котором отображены объекты, двигавшиеся со скоростью, указанной при программной конфигурации. Такой кадр имеет ряд преимуществ по сравнению с видео форматом: удобство анализа данных, простота визуализации, в том числе на печати, и простота постобработки. Формат эффективен также для хранения. В отличие от форматов .MKV и .MP4 аудио информация не включена, происходит сжатие всего панорамного кадра, что значительно уменьшает размер файла. При необходимости можно преобразовать его в видео формат и обратно. Любое видео – это контейнер кадров с сенсора камеры, а панорамный кадр – те же кадры, полученные из контейнера, соединённые по высоте. Более того, для одного записанного набора изображений возможно получить бесконечное множество панорамных кадров, соответствующих конкретным и фиксированным скоростям целевых объектов.

В общем случае суть метода для неподвижного объекта заключается в сканировании, которое выполняется путём продольной съёмки объекта. Для движущихся объектов применим обратный подход, камера установлена неподвижно, но полоса пикселей определённой ширины снимается с такой частотой, что кадры соответствуют частям объекта, переместившимся в пространстве за временной интервал между их получением. Таким образом, скорость целевых объектов определяется комбинацией установленной ширины полосы пикселей и частоты кадров сенсора. Значения этих параметров зависят от непосредственно скорости, задаваемой в конфигурации, и миллиметров горизонтали, приходящихся на пиксель. Обозреваемое сенсором пространство можно представить, как усечённую пирамиду. Тогда горизонтальное сечение упрощённо представляется как равнобедренный треугольник, в котором высота будет являться расстоянием до объекта. Используя это расстояние и угол обзора камеры, значение миллиметров на пиксель вычисляется по формуле:

$$L_p = \frac{D \cdot \tan\theta}{W} \quad (1),$$

где D – расстояние до объекта; θ – угол обзора сенсора; W – ширина кадра в пикселях.

Различные комбинации ширины полосы и частоты кадров могут приводить к одинаковой целевой скорости. Это позволяет создавать такие режимы конфигурации метода, при которых устанавливается приоритет конкретного параметра результирующего кадра. Например, уменьшив частоту кадров, можно снимать в режимах сенсора, обладающих высоким разрешением, что повышает качество изображения. В то же время при высокой частоте кадров площадь задействования матрицы сенсора можно значительно уменьшить, тем самым снизить рабочую загрузку сенсора и объём необходимой для обработки кадра памяти. При этом для необходимой частоты кадров, миллиметров на пиксель и целевой скорости получаем формулу вычисления ширины полосы пикселей:

$$W_s = \frac{V}{L_p \cdot FPS} \quad (2),$$

где V – целевая скорость, FPS – частота кадров.

С целью проверки метода был обработан видеопоток, записанный на камеру мобильного телефона. В формулы (1) и (2) были подставлены расстояние до объекта равное 10 метров, и частота

равная 30 кадров/сек. Были получены результирующие панорамные кадры автобуса, соответствующие скоростям 30 км/ч, 37,5 км/ч и 44,5 км/ч на рисунке 1.



а



б



в

Рисунок 1 – Изображение автобуса для целевых скоростей 30 км/ч (а), 37,5 км/ч (б), 44,5 км/ч (в)

Для применения метода в обработке видеопотока в реальном времени было использовано устройство на основе одноплатного компьютера Raspberry Pi 3B и сенсора камеры OV5647 [2]. Метод реализован как программное обеспечение, которое конфигурирует ширину полосы, снимаемой с сенсора, устанавливает необходимую частоту кадров для указанной скорости объекта и соединяет кадры, получаемые с сенсора. Движущимся объектом была модель автомобиля, многократно подвергавшаяся сканированию, двигаясь с различной скоростью. Комплекс и модель автомобиля представлены на рисунке 2.



а



б

Рисунок 2 – Внешний вид модели автомобиля (а) и комплекса сканирования (б)

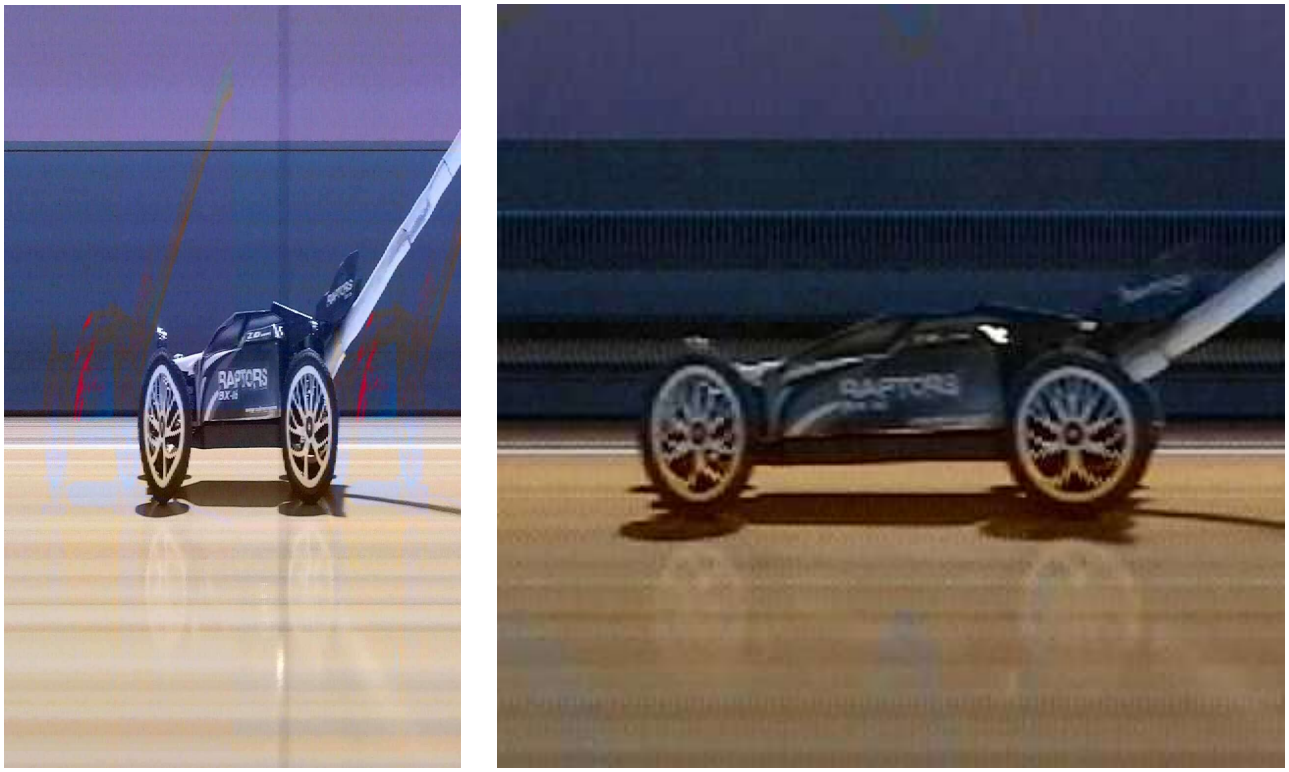
Подстановка некорректных параметров в формулы (1) и (2) приводит к значительным искажениям объектов на результирующем панорамном кадре, так как их реальная скорость отличается от целевой скорости. Примеры полученного панорамного кадра представлены на рисунке 3.



а б

Рисунок 3 – Искажённая модель автомобиля, отсканированная с шириной полоски в 24 пикселя и частотой 15 Гц (а) и с шириной полоски в 4 пикселя и частотой 58 Гц (б)

При более точном указании целевой скорости и расстояния до объектов, с помощью реализованного алгоритма получены оптимальные в соответствии с конфигурацией и возможностями сенсора параметры. Отдельные результаты сканирования для ширины полосы равной четырём пикселям, а частоты кадров равной 15 Гц и 58 Гц представлены на рисунке 4. Стоит отметить, что для сенсора комплекса, съёмка на 58 кадрах в секунду соответствует разрешению 640 на 480 пикселей, а съёмка на 15 кадрах – 2592 на 1944 пикселей. Следовательно, качество изображения для 15 кадров в секунду выше.



а б

Рисунок 4 – Модель автомобиля, отсканированная с шириной полоски в 4 пикселя и частотой кадров 15 Гц (а) и 4 пикселя и частотой кадров 58 Гц (б)

В ходе проведения экспериментов метод сканирования был опробован на двух различных видеопотоках, записанном ранее с помощью камеры мобильного телефона и видеопотока, полученного реальном времени с помощью аппаратного комплекса. Критическую важность для получения качественных результатов сканирования имеют корректные указания параметров: целевой скорости и расстояния до объектов. Для удобного и точного измерения расстояний до близко расположенных объектов в комплекс планируется встраивание ультразвукового дальномера. Чтобы повысить максимальную целевую скорость, требуется увеличить доступную частоту кадров, добавив доступные режимы работы сенсора в драйвер устройства [3].

Метод может применяться в совокупности с алгоритмами машинного обучения, предоставляя входные данные для последующего анализа с целью детектирования и классификации. Например, учёта количества и типов железнодорожных вагонов, классификации автомобильного транспорта на участках дорог, или детектирования нарушений и учете при производстве.

Список использованных источников:

1. Raspberry Pi [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.raspberrypi.com/documentation/ – Дата доступа: 10.04.2025.

2. OV5647 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Dev/RaspberryPi/ov5647_full.pdf. – Дата доступа: 06.04.2025.

3. Код драйвера [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://git.kernel.org/pub/scm/linux/kernel/git/torvalds/linux.git/tree/drivers/media/i2c/ov5647.c. – Дата доступа: 06.04.2025

UDC 004.021:621.397.33

METHOD OF SCANNING MOVING STREAM OF OBJECTS

Rusakovich Y.S., Demenkovets D. V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Levantsevich V. A. – Senior Lecturer

Annotation. The method of scanning streams of moving objects and the algorithm of image formation are described. The results of processing video streams recorded in advance and in real time are presented.

Keywords. Scanning, speed, panoramic frame, frame rate, pixel strip.

УДК 004.021

АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПАКТНОЙ И ЭФФЕКТИВНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОБУЧАЕМОГО ДВУМЕРНОГО РАЗДЕЛИМОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Кривальцевич Е.А.[1], студент гр.150701

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники[1]
г. Минск, Республика Беларусь

Вашкевич М.И. – докт. техн. наук

Аннотация. В работе рассмотрена аппаратная реализация нейронной сети для распознавания изображений на основе обучаемого двумерного разделимого преобразования. Обучение нейронной сети осуществлялось на языке Python с использованием библиотеки PyTorch. Также на языке Python описана эталонная модель вычислительного процесса нейронной сети, использующая представление данных в формате с фиксированной запятой. Осуществлена аппаратная реализация нейронной сети на языке SystemVerilog и произведено её тестирование с использованием отладочной платы Zybo-Z7.

Ключевые слова. Нейронные сети, обучаемое двумерное разделимое преобразование, Verilog, IP-блок.

Введение

В условиях ограничений по объёму памяти, скорости обработки и энергопотреблению — особенно при реализации на встраиваемых устройствах или FPGA — особую актуальность, при решении задачи распознавания изображений, приобретают архитектуры нейронных сетей с минимальным числом параметров при сохранении высокой точности классификации. Одним из подходов к снижению вычислительной сложности нейросетевых моделей является использование двумерного разделимого линейного слоя (LST2D), который позволяет существенно сократить количество умножений и требуемый объём памяти [1].

В данной работе рассматривается аппаратная реализация нейросети с использованием слоя LST2D на базе программируемой логики (FPGA), направленная на достижение компромисса между компактностью модели и точностью распознавания.

Разделимое двумерное преобразование

Двумерное разделимое преобразование применяется в обработке изображений для снижения вычислительной сложности при пространственной фильтрации. Предлагаемое обучаемое преобразование обрабатывает изображение вначале по строкам, а потом по столбцам.

Преобразование LST2D обрабатывает изображение X размера $d_{in} \times d_{in}$ при этом на выходе получается изображение Y размера $d_{out} \times d_{out}$ [1]:

$$Y = LST_{d_{in} \times d_{in}}(X) = \tanh(W_2 \tanh(W_1 X^T)), \tag{1}$$

где W_1, W_2 – матрицы весов слоев FC1 и FC2, соответственно, а d_{in} и d_{out} – это гиперпараметры преобразования, определяющие число обучаемых параметров $N = 2 \cdot (d_{in} + 1) \cdot d_{out}$.

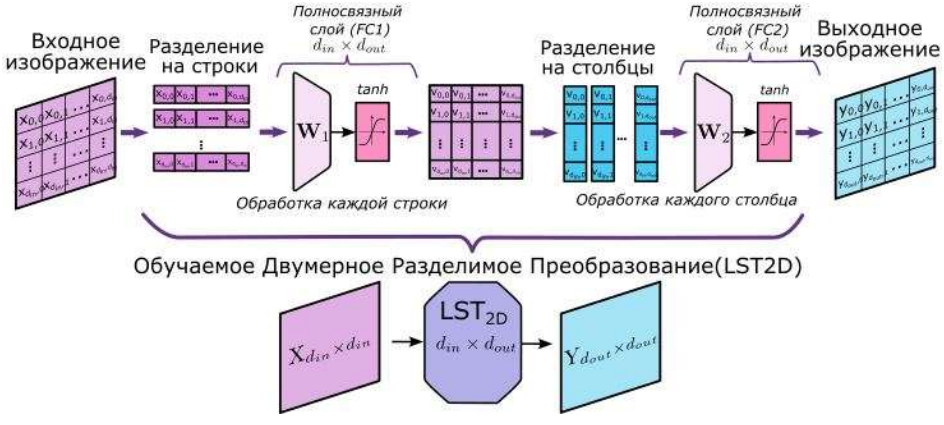


Рисунок 1 – Схема LST2D преобразования[1]

Обучение НС

Обучение НС LST2D осуществляется на основе 60000 тренировочных изображений из базы данных MNIST. Из MNIST загружается 60000 тренировочных и 10000 тестовых изображений размером

28 × 28 пикселей в градациях серого. Из тренировочного набора выделяется 1000 изображений для валидации, оставшиеся 59000 используются для обучения модели.

Перед подачей в нейросеть изображения проходят предварительную обработку, включающую нормализацию значений пикселей. Каждый пиксель исходного изображения представлен числом в диапазоне от 0 до 255. Для упрощения процесса обучения выполняется нормализация данных таким образом, чтобы значение каждого пикселя было в диапазоне от −1 до 1, а стандартное отклонение (σ) составляло 0.5. Это позволяет сделать градиентный спуск более устойчивым и ускорить процесс сходимости модели. Обучение проводится на 300 эпохах, при этом на каждой эпохе вычисляется функция потерь NLLLoss.

На рисунке 2,а показан график функции потерь, которая в течении 300 эпох стабилизируется, приближаясь к значению около 0,2, что указывает на достижение сходимости.

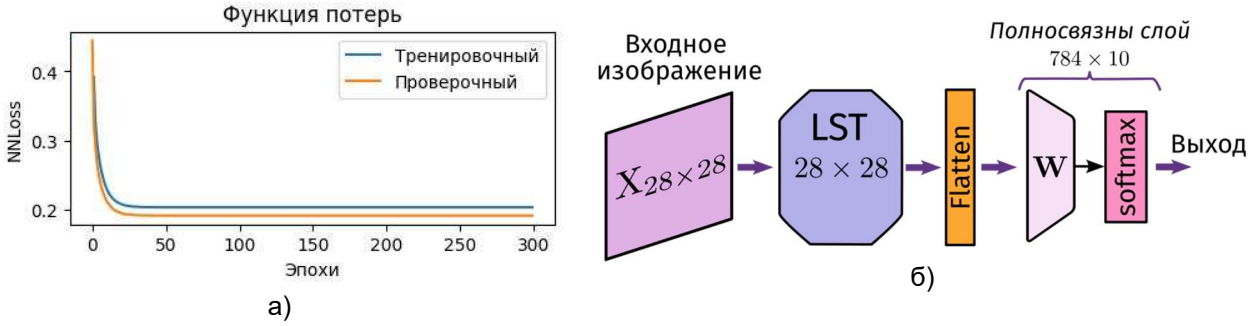


Рисунок 2 – Нейронная сеть: а) функция потерь на обучающем и тестовом наборе; б) архитектура нейронной сети

Эталонная модель

Программная реализация НС выполняется с использованием языка Python. В качестве эталонной модели реализуется нейронная сеть на основе библиотеки fixpoint. В данной реализации используется формат представления данных Q6.7, где 6 бит отведены под целую часть числа, а 7 бит используются для дробной части.

При переводе значений из плавающей запятой в фиксированную используется метод округления к ближайшему минимальному числу (округление вниз). Этот метод позволяет минимизировать ошибки округления и избежать систематического смещения, которое может возникать при округлении к ближайшему числу.

Эталонная модель представляет собой НС с двумя скрытыми слоями и активационной функцией tanh (см. рисунок 2,б). Входные изображения размером 28 × 28 проходят последовательную обработку:

– Первый слой выполняет линейное преобразование входных данных с весами и смещением, после чего применяется функция активации тангенс.

– Второй слой аналогично выполняет линейное преобразование, используя параметры весов и смещений, после чего применяется функция активации тангенс.

– Выходной слой выполняет классификацию, вычисляя вероятности классов с помощью softmax.

Сравнение выходных значений между моделью с фиксированной точностью и моделью с плавающей точкой представлено на рисунке 3.

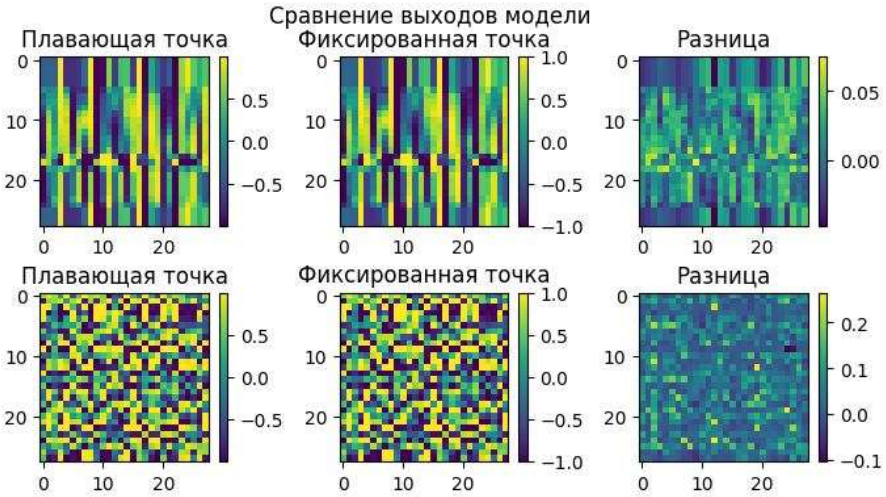


Рисунок 3 – Сравнение результатов вычислений

Реализация на FPGA

Для реализации НС была выбрана отладочная плата Zybo на базе ПЛИС Zynq-7000. Zynq – это система на кристалле (СнК), которая объединяет процессор ARM и программируемую логику FPGA. Для упрощения разработки и тестирования на этой платформе используется дистрибутив Linux PYNQ

(Python productivitY for zyNQ). Для соединения процессорной системы с разработанным IP-блоком используется преобразователь интерфейса uP-AXI4-lite.

Структура разработанной системы для распознавания рукописных цифр на базе платформы Zynq представлена на рисунке 4.

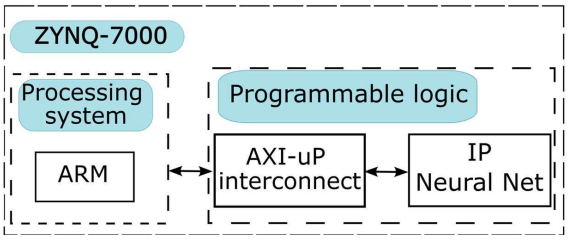


Рисунок 4 – Структура системы для распознавания рукописных цифр

Рассмотрим структуру IP-блока HC, которая представлена на рисунке 5.

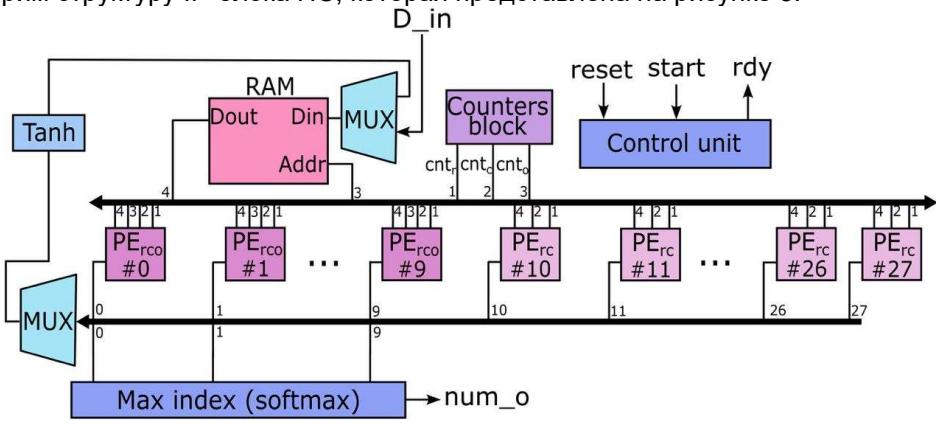


Рисунок 5 – Структура IP-блока HC

Данный компонент состоит из следующих блоков:

1 Блок счетчиков.

2 Блок процессорных устройств (ПУ) первого типа.

3 Блок ПУ второго типа.

4 Блок памяти изображения.

5 Блок softmax.

6 Блок tanh.

7 Блок управляющего устройства.

В блоке счетчиков осуществляется расчёт адреса для памяти весовых коэффициентов, а также формирует адрес для записи и чтения из памяти изображения.

Все вычисление LST слоя, а также финального полносвязного слоя осуществляется на 28 ПУ, которые подразделяются на 2 типа в соответствии с рисунком 6, что удобно для обработки изображений размером 28 на 28 пикселей.

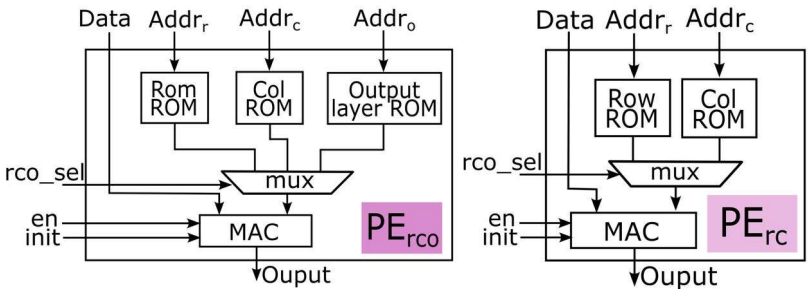


Рисунок 6 – Структура блоков ПУ

Процессорные устройства первого типа используются в количестве 10 штук. Данные ПУ пере используются после вычисления LST слоя в финальном полносвязном слое. Данная ключевая особенность требует хранения дополнительных весовых коэффициентов и передачи дополнительного адресного входа, для управления чтения из данной памяти.

Процессорные устройства второго типа хранят лишь весовые коэффициенты для обработки по строкам и столбцам входного изображения.

В блоке памяти изображения храниться обрабатываемая картинка на всех этапах. Сначала исходные данные, затем результат каждого из FC слоев в LST преобразовании.

В блоке tanh осуществляется аппроксимированный расчет функции активации тангенс гиперболический для LST слоя. Прямая реализация вычисления тангенса будет занимать большое количество вычислительных ресурсов. Поэтому для удобства реализации используется аппроксимация в соответствии с формулой [2]:

$$tanh(x) \approx F(x) = \begin{cases} sign(x), |x| > 2 \\ (1 + \frac{x}{4}) \cdot x, -2 < x < 0 \\ (1 - \frac{x}{4}) \cdot x, 0 < x < 2 \end{cases} \quad (2)$$

Блок softmax осуществляет выбор наиболее вероятного класса. Реализация в соответствии с формулой 3 требует значительных вычислительных ресурсов, поэтому для FPGA реализации осуществляется сравнение всех 10 входных значений и выбор максимального из них.

$$soft\,max = \frac{e^{z_j}}{\sum_{j=1}^{k} e^{z_j}} \quad (3)$$

где z_j – набор числовых значений, e^{z_j} – экспоненциальная функция от z_j, которая переводит числовое значение в положительное.

Управляющее устройство формирует корректные поставки данных между блоками и управляет функционалом в соответствии с требуемым алгоритмом.

Эксперимент и результаты

Экспериментальное тестирование заключается в аппаратной обработке тестового набора изображений и подтверждении релевантности использования данного типа слоя НС для решения задач по распознаванию рукописных цифр на основе компактной архитектуры.

Для тестирования на FPGA осуществляется последовательная обработка 10000 тестовых изображений и построение матрицы спутывания, которая показывает точность распознавания каждой цифры. На рисунке 7 представлена матрица, полученные на FPGA. Общая точность в НС с LST2d слоем и разрядностью Q6.7 составляет 96,6%.



Рисунок 7 – Матрицы спутывания по результатам аппаратного тестирования и эталона

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что цифры 3 и 4 распознаются наилучшим образом (точность – 98.6%), хуже всего распознается цифра 5 (точность – 93,2%). Аппаратные затраты, полученные на основе отчетов о размещении проекта на FPGA в среде Xilinx Vivado, представлены в таблице 1. Частота работы устройства 80МГц.

Таблица 1 – Аппаратные затраты на FPGA реализацию

Тип блока	Количество блоков, шт		Использование, %
	используемое	доступное	
LUT как логика	8111	17600	46.09
LUT как память	169	6000	2.82
FF	27	35200	0.08
BRAM	33	60	55.0
DSP	29	80	36.25

Данная архитектура позволяет хранить в памяти 9474 параметра, но значительно меньше, чем в других архитектурах при схожей точности, что показывает релевантность использования данного слоя в архитектурах НС и реализации на FPGA. Сравнение архитектур представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение параметров и точности различных архитектур НС

Авторы	Архитектура	Количество параметров, шт	Точность, %
Huynh[3]	784-40-40-40-10	34960	97.2
Huynh[3]	784-126-126-10	115920	98.16
Westby[4]	784-12-10	9550	93.25
Umuroglu[5]	784-1024-1024-10	1863690	98.4
Liang[6]	784-2048-2048-2048-10	10100000	98.32
LST2D	LST2D	9474	96.6

Выводы

В работе предложен вариант аппаратной реализации устройства распознавания рукописных цифр на базе LST2D преобразования и платформы Zybo. Показано значительное уменьшение количества параметров, в сравнении с другими архитектурами.

Список использованных источников:

1. Vashkevich, M., Krivalcevich E. Compact and Efficient Neural Networks for Image Recognition Based on Learned 2D Separable Transform / M. Vashkevich, E.Krivalcevich // Proc. of 27th International Conference on Digital Signal Processing and its Applications (DSPA). – 2025. – P. 1–5.

2. L. D. Medus, T. Iakymchuk, J. V. Frances-Villora, M. Bataller-Mompean, and A. Rosado-Munoz, "A novel systolic parallel hardware architecture for the FPGA acceleration of feedforward neural networks,"IEEE Access, vol. 7, pp. 76 084–76 103, 2019.

3. T. V. Huynh, "Deep neural network accelerator based on FPGA," in 2017 4th NAFOSTED Conference on Information and Computer Science,2017, pp. 254–257.

4. I. Westby, X. Yang, T. Liu, and H. Xu, "FPGA acceleration on a multilayer perceptron neural network for digit recognition," The Journal of Supercomputing, vol. 77, no. 12, pp. 14 356–14 373, 2021.

5. Y. Umuroglu, N. J. Fraser, G. Gambardella, M. Blott, P. Leong, M. Jahre, and K. Vissers, "FINN: A framework for fast, scalable binarized neural network inference," in Proceedings of the 2017 ACM/SIGDA international symposium on field-programmable gate arrays, 2017, pp. 65–74.

6. S. Liang, S. Yin, L. Liu, W. Luk, and S. Wei, "FP-BNN: Binarized neural network on FPGA," Neurocomputing, vol. 275, pp. 1072–1086, 2018.

UDC 004.021

HARDWARE IMPLEMENTATION OF A COMPACT AND EFFICIENT NEURAL NETWORK FOR IMAGE RECOGNITION BASED ON A LEARNABLE TWO-DIMENSIONAL SEPARABLE TRANSFORMATION

Krivaltsevich E.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics[1], Minsk, Republic of Belarus

Vashkevich M.I. – Doctor of Science

Annotation. The paper considers the hardware implementation of a neural network for image recognition based on a learnable two-dimensional separable transformation. The neural network was trained in Python using the PyTorch framework. A reference model in Python is described. Hardware implementation in the Verilog language and testing on a set of MNIST handwritten digits have been implemented.

Keywords. Neural networks, trainable two-dimensional separable transformation, Verilog, IP block.

УДК 004.934.1'1

НЕЙРОННАЯ СЕТЬ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ГОЛОСОВЫХ КОМАНД

Сакович В.А., студент гр.150701

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Вашкевич М.И. – доктор техн. наук

Аннотация. В работе рассмотрен вопрос разработки нейронной сети для распознавания голосовых команд. Обоснован выбор архитектуры нейронной сети. Описан алгоритм обучения и тестирования нейронной сети. Обучение, описание и тестирование нейронной сети выполнялось с помощью языка программирования Python и библиотеки PyTorch.

Ключевые слова. Сверточная нейронная сеть, Мелспектрограмма.

ВВЕДЕНИЕ

Современные системы голосового управления основаны на нейронных сетях – математических моделях, способных обучаться и распознавать сложные закономерности. Такие сети могут анализировать человеческую речь, преобразовывать её в текст, что позволяет управлять устройствами без физического взаимодействия с ним. Эта технология применяется в умных домах, автомобильных системах, промышленной автоматизации и медицинских устройствах, делая взаимодействие с техникой более удобным и доступным для большего количества людей.

В данной работе разрабатывалась нейронная сеть для распознавания набора из восьми голосовых команд: «yes», «no», «up» «down», «left», «right», «go», «stop». Этот набор является оптимальным так как он может быть полезен для различных вариантов использования в технических системах и для выполнения определенных действий, таких как подтверждение или отклонение действий, навигация и т.д.

Разрабатываемая сверточная нейронная сеть (СНС), представляет собой специализированную архитектуру для обработки мелспектрограмм голосовых команд. Модель состоит из четырех последовательных сверточных блоков, каждый из которых включает слой двумерной свертки, нормализацию по минипакетам, нелинейную активацию и операцию субдискретизации (англ. *max-pooling*).

ПОДГОТОВКА НАБОРА ДАННЫХ

В качестве опорного набора данных использовался набор данных Speech Command Dataset (SCD) [1]. В нем есть все перечисленные выше команды, которые представлены аудиозаписями длиной в одну секунду с частотой дискретизации 16 кГц.

Следующим шагом была подготовка класса тишины для того, чтобы нейронная сеть не делала ошибочных предсказаний в системе, которая будет ее использовать. Для этих целей был найден набор данных с записями окружающей среды [2]. Данные были преобразованы в такой же формат, как и команды из набора SCD. В результате был получен сбалансированный набор аудиоданных, в котором каждый класс представлен 2000 записей.

Подготовленная выборка разбивалась на два подмножества – обучающие данные и тестовые. Оптимальное разделение данных позволяет обеспечить обучение модели на достаточном объёме информации, при сохранении возможности её статистически значимой проверки на независимом наборе данных. Было выбрано соотношение обучающих данных к тестовым: 70/30. Во-первых, 70% данных хватает для качественного обучения модели, чтобы она могла выявить основные закономерности. Во-вторых, 30% тестовых данных – это достаточно большая выборка для надежной оценки ее реальной производительности. На диске набор данных хранился следующим образом: в каталоге train хранились папки с обучающими данными, а в каталоге test – с тестовыми данными. Для каждого класса в папке train было расположено 1400 аудиофайлов, а в папке с тестовыми данными было 600 файлов. Также был описан файл format.json для разделения папок с аудиоданными по классам. Файловая структура набора данных представленная на рисунке 1,а.

АРХИТЕКТУРА НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Для распознавания голосовых команд перед подачей на вход нейросети звуковые сигналы преобразуются в мелспектрограмму. Мелспектрограмма – это представление аудиосигнала в виде двумерного графика, где по оси абсцисс отложено время, по оси ординат — частота, представленная в шкале мелов, а по оси аппликат – энергия сигнала. Преимущество мелспектрограммы заключается в её способности выделять наиболее значимые для распознавания человеческой речи частотные диапазоны. Поэтому мелспектрограммы широко используются в задачах обработки звука с применением нейронных сетей [3]. На рисунке 1,б представлено изображение мелспектрограммы команды «down».

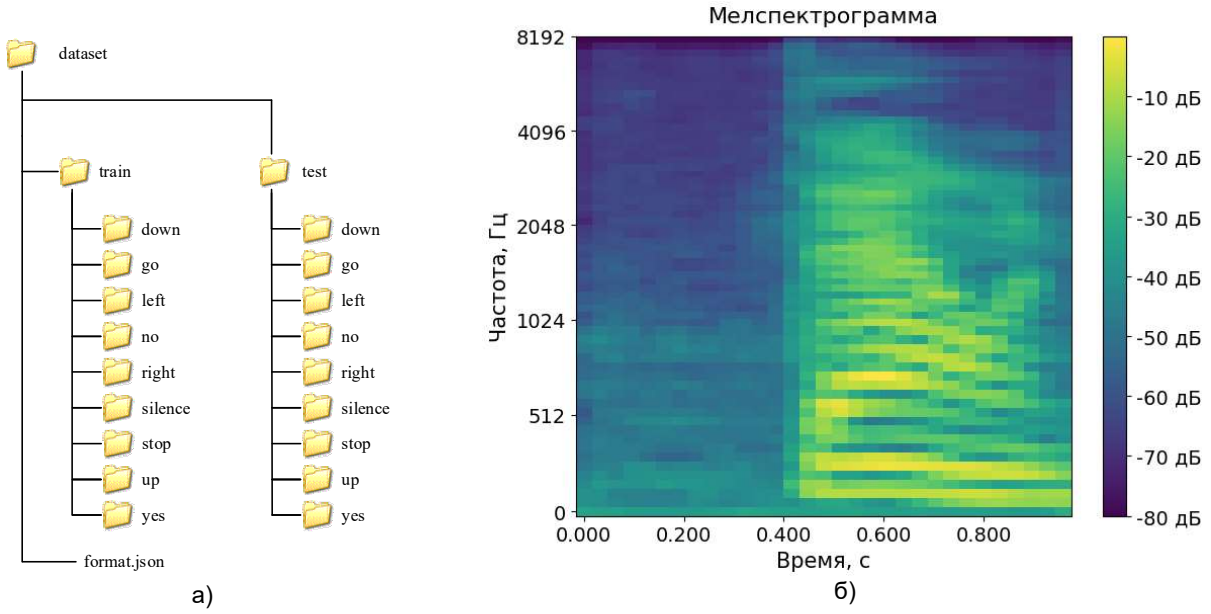


Рисунок 1 – Набор данных: а) файловая структура; б) пример мелспектрограммы команды «down»

Для обработки мелспектрограмм выбрана архитектура сверточной нейронной сети, так как она обладает высокой эффективностью при обработке изображений, а также хорошо показывает себя в обработке мелспектрограмм [4]. Архитектура СНС, на которую подается одна мелспектрограмма представлена на рисунке 2.

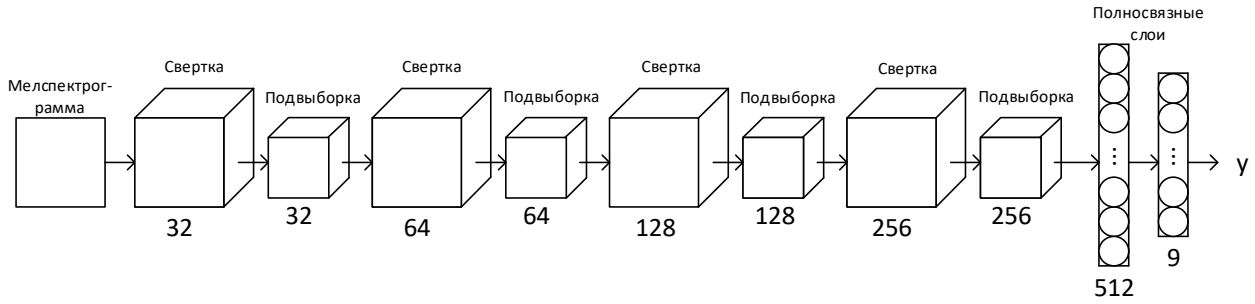


Рисунок 2 – Архитектура разработанной СНС

Разработанная СНС для обработки мелспектрограмм представляет собой модель, состоящую из четырех сверточных блоков, каждый из которых включает сверточный слой, пакетную нормализацию и операцию субдискретизации. Входом сети является минипакет из 32 спектрограмм размером 64×100 пикселей. Первый сверточный слой использует 32 фильтра размером 3×3 с сохранением исходных размеров. Последующие слои увеличивают количество фильтров до 64, 128 и 256 соответственно, сохраняя ту же структуру. После каждого сверточного слоя применяется операция субдискретизации с окном 2×2, которая уменьшает пространственные размеры вдвое, выделяя наиболее значимые признаки. После сверточных слоев данные преобразуются в одномерный вектор размером 6144 элемента (256×4×6) и проходят через два полносвязных слоя. Для предотвращения переобучения перед полносвязными слоями был добавлен слой дропаут, который во время обучения на каждом шаге случайным образом обнуляет часть нейронов в слое с вероятностью 50%. Далее идет первый полносвязный слой с 512 нейронами и активацией ReLU, который осуществляет нелинейное преобразование признаков, второй слой выдает итоговые предсказания для 9 классов.

ОБУЧЕНИЕ И ТЕСТИРОВАНИЕ МОДЕЛИ

После описания модели необходимо обучить модель. Для этого сначала была определена функция потерь – перекрестная энтропия:

$$E = -\sum_{n=1}^{N}\sum_{i=1}^{M} t_i^n \cdot \log y_i(x^n), \quad (1),$$

где N — количество примеров в выборке, M – количество классов, t_i^n – истинная метка для примера n и класса i, $y_i(x^n)$ — предсказанная моделью вероятность того, что пример x^n принадлежит классу i.

Эта функция потерь хорошо подходит для задач классификации [5]. Затем создается оптимизатор Adam, который будет обновлять параметры модели. Этот оптимизатор эффективно

адаптирует скорость обучения для каждого параметра модели индивидуально. Также был определен планировщик скорости обучения ReduceLROnPlateau, который автоматически уменьшает скорость обучения в 10 раз, если значение потерь не улучшается в течение 5 эпох. Перед началом обучения модель переносится на доступное вычислительное устройство.

Обучение проходит в цикле по эпохам. Было выбрано 10 эпох для обучения. В начале каждой эпохи модель переключается в режим обучения, что активирует такие слои как дропаут и нормализацию минипакетов.

Для каждой эпохи инициализируется переменная для накопления значений функции потерь, а также обнуляются градиенты оптимизатора, чтобы предотвратить их накопление. После выполняется прямой проход – данные пропускаются через модель, получаются предсказания, вычисляется значение функции потерь, сравнивающее предсказания с истинными метками. Далее выполняется обратное распространение ошибки, вычисляются градиенты, после чего оптимизатор обновляет параметры модели. После обработки всех минипакетов в эпохе планировщик обновляет скорость обучения на основе накопленных потерь. На рисунке 3,а представлен график ошибки в процессе обучения.

Следующим этапом после обучения модели является тестирование. Для этого модель была переведена в режим оценки, после этого в цикле обрабатываются тестовые данные без вычисления градиентов: для каждого минипакета получаются предсказания модели, определяется наиболее вероятный класс и сравнивается с правильными ответами. После обработки всех данных выводится точность модели, которая равна 95,5%.

Матрица ошибок для СНС на тестовом наборе представлена на рисунке 3,б. Полученные результаты свидетельствуют, что модель демонстрирует высокую эффективность в распознавании голосовых команд. Большинство предсказаний сосредоточено на главной диагонали матрицы, что указывает на правильную классификацию для подавляющего числа примеров. Особенно хорошо модель справляется с классами «right», «yes» и «silence». Тем не менее, матрица показывает и проблемные зоны. Несложно заметить, что модель допускала ошибки в тех командах, которые имели похожие звучания. Однако количество таких ошибок невелико и является некритичным. Высокая точность по всем классам подтверждает, что модель успешно обобщает признаки и хорошо справляется с основной задачей классификации голосовых команд.

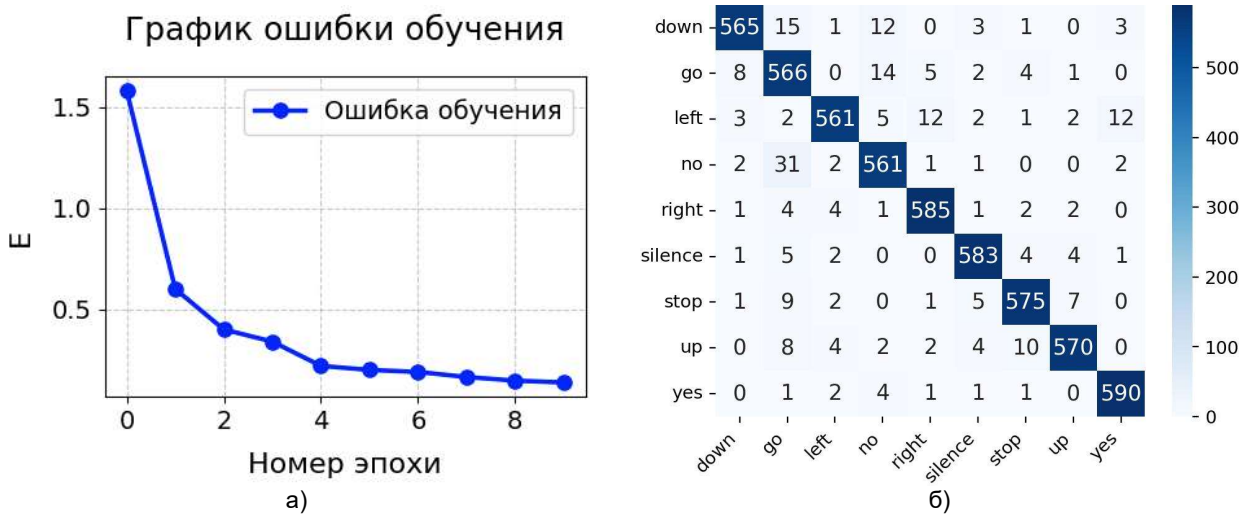


Рисунок 3 – Обучение модели: а) график ошибки обучения; б) Матрица ошибок

ВЫВОД

Полученная модель СНС продемонстрировала высокую эффективность, показав точность 95,5% на тестовых данных, что свидетельствует о ее способности успешно решать поставленную задачу распознавания голосовых команд. Еще одним преимуществом реализованной нейронной сети является ее архитектура – при достаточно высокой точности предсказаний модели, она является не слишком глубокой, что позволяет ее использовать во многих системах, которые не обладают высокими вычислительными мощностями.

Список использованных источников:

1. URL: https://tensorflow.google.cn/datasets/catalog/speech_commands. Дата доступа: 16.04.2025.

2. URL: https://github.com/karolpiczak/ESC-50/tree/master

3. Boyang Zhang Jared Leitner Sam Thornton Audio Recognition using Mel Spectrograms and Convolution Neural Networks Dept. of Electrical and Computer Engineering, University of California, San Diego, 2019 – 5 p.

4. Xuejiao Li, Zixuan Zhou Speech Command Recognition with Convolutional Neural Network, 2017 – 6 p.

5. Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. Глубокое обучение / пер. с анг. А. А. Слинкина. – 2-е изд., испр. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 652 с.: цв. ил.

UDC 004.934.1'1

NEURAL NETWORK FOR RECOGNIZING VOICE COMMANDS

Sakovich V.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics[1], Minsk, Republic of Belarus

Vashkevich M.I. – Doctor of Science

Annotation. The paper considers the principle of operation of a neural network for recognizing voice commands. The choice of neural network architecture is justified. An algorithm for training and testing a neural network is described. The neural network was trained, described, and tested using the Python programming language and the PyTorch library.

Keywords. Convolutional neural network, Mel spectrogram.

КВАТЕРНИОННАЯ НЕЙРОННАЯ СЕТЬ НА БАЗЕ FPGA

Осипов А. С, студент гр.150701

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Петровский Н.А. – канд. техн. наук

В работе представлена реализация нейронной сети на базе FPGA, использующую алгебру кватернионов для классификации трёхкомпонентных цветных изображений. Структура нейронной сети состоит из полносвязных слоев. В работе представлены результаты симуляции и синтеза модели, составленной на языке System Verilog, а также варианты развития проекта.

Введение

Использование алгебры кватернионов для реализации нейронных сетей приносит существенное преимущество при работе с цветными изображениями. Преимущество достигается за счет более тесной связи между каналами одного пикселя. Так, устройство автокодировщика [1], использующую алгебру кватернионов, показывает лучшие результаты восстановления изображений при большем сжатии по сравнению со стандартной реализации.

В данной статье представлен результат реализации полносвязной нейронной сети на базе *FPGA*. Целевой задачей нейронной сети была выбрана классификация изображений с перспективой модернизации *IP*-блока для решения разнообразных задач.

Структура нейронной сети и процесс обучения

В качестве обучающей выборки для нейронной сети использовался датасет *CIFAR-10* [2], содержащий 60000 цветных изображений размером 32x32 пикселя, распределенных по десяти классам.

Перед подачей данных на вход кватернионной нейронной сети, значения пикселей, представленные в диапазоне $[0, 255]$, нормализуются к диапазону $[0, 1)$ путем деления на значение 256. Опционально диапазон значений может быть сдвинут в область $[-0.5, 0.5)$, что также влияет на результаты обучения нейронной сети и в последствии используется в качестве гиперпараметра. При представлении данных в виде кватернионов каждому пикселю соответствует свое значение при мнимых единицах кватерниона. Значение при действительной части приравнивается нулю.

В данной работе представлена реализация кватернионной нейронной сети, основанной на полносвязных слоях. Выходом нейронной сети является номер класса, представленный в унитарном коде в составе кватернионов. Так, для представления десяти классов требуется три кватерниона, два из которых не будут иметь полезных данных при мнимой единице *k*.

На рисунке 1 представлен график обучения нейронной сети. Максимальное значение предсказания на тренировочном наборе составляет 56.91%. Используя текущую структуру сети, состоящую исключительно из полносвязных слоев, достичь лучшего значения предсказания не представляется возможным. В связи с этим далее в статье описаны варианты по ее модернизации, влияющие, как только на процесс обучения (использование *dropout* слоев), так и на функционал итогового *IP*-ядра (использование сверточных слоев).

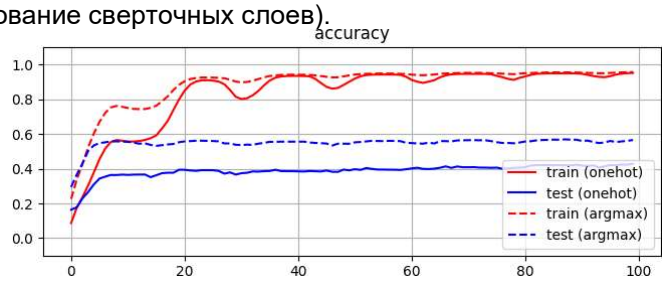


Рисунок 1 – График метрик тренировочного и тестового наборов при обучении нерейронной сети

Реализация IP-ядра

Разработанное *IP*-ядро реализовано на языке *SystemVerilog* и имеет два интерфейса *AXI-Stream*: *slave*-интерфейс для приема входных изображений и *master*-интерфейс для выдачи результатов работы нейронной сети.

IP-ядро состоит из следующих модулей: модуль управления, отвечающего за регулирование транзакций обращения к памяти ядра (чтения и записи), управление сигналами внешних интерфейсов, выбор текущего слоя и функции активации; *ROM* и *RAM* память для хранения весов модели и промежуточных результатов; вычислительный модуль, отвечающего за перемножение кватернионов, накопление суммы и применение функции активации.

Память *ROM* и *RAM* была реализована на основе блоков *BRAM*, поскольку синтез на *LUT*-блоках оказался невозможным из-за ограничений по их количеству. В результате экспериментов квантования весов нейронной сети оптимальным вариантом формата данных был принят *Q16.13* (16-ти разрядное знаковое число с 13-ю разрядами после запятой).

BRAM-память имеет ряд ограничений, таких как невозможность одновременной записи и чтения (критично для буферизации промежуточных данных) и требование синхронного чтения.

Для решения этих проблем была применена архитектура, включающая разделение *RAM*-памяти на два буфера, операции чтения и записи которых выполняются поочередно, и внедрение задержки (*pipeline*) управляющих сигналов для коррекции задержанного прихода данных с *ROM*.

В результате симуляции и синтеза *IP*-ядра были получены временная диаграмма работы (рисунок 2), потребление ресурсов *FPGA* и временные задержки схемы (рисунок 3).

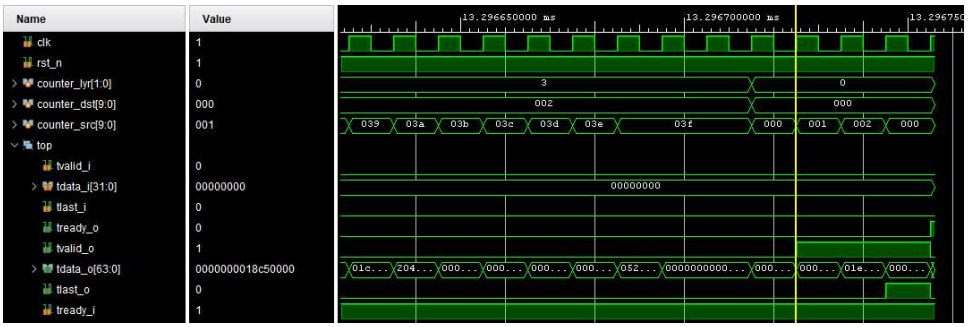
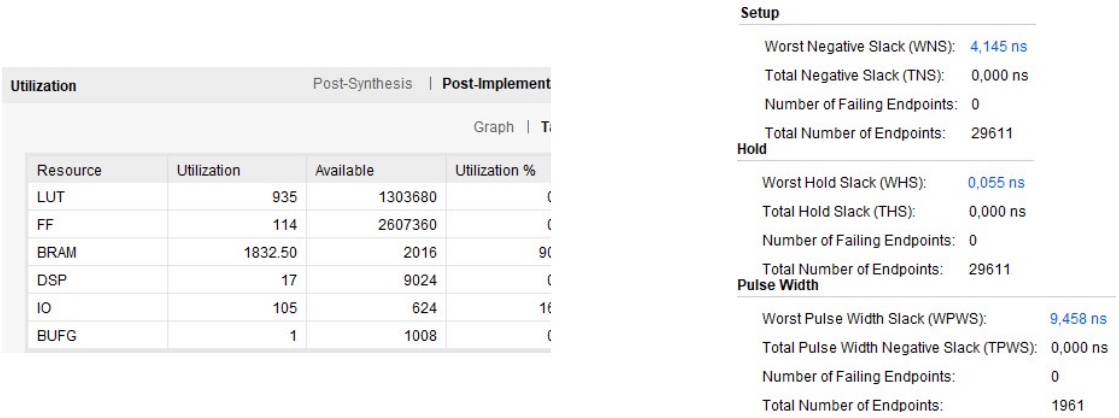


Рисунок 2 – Часть временной диаграммы с выводом результата работы *IP*-ядра



а б

Рисунок 3 – Результаты синтеза и имплементации *IP*-ядра: а – затраты ресурсов *FPGA*; б – запас на задержку схемы при тактовой частоте 50 МГц

Заключение и дальнейшее развитие

Низкая эффективность и высокие требования к памяти существующей модели могут быть нивелированы путем модификации архитектуры сети.

Во-первых, предлагается использовать сверточные слои [3] на начальных уровнях, что позволит снизить размерность данных, поступающих в последующие полносвязные слои и, соответственно, уменьшить количество весов. Данный тип слоя использует ядро свертки k×k для преобразования входного изображения N×N в матрицу размером (N+1-k)×(N+1-k).

Во-вторых, для предотвращения переобучения модели целесообразно встраивать слои регуляризации dropout [4] между слоями различного типа. Активация dropout-слоев, осуществляемая исключительно на этапе обучения, приводит к частичному отключению нейронов, стимулируя тем самым извлечение сущностных признаков и закономерностей из данных вместо простого запоминания входного набора.

Список использованных источников:

1. *Автокодировщик цветных изображений на основе кватернионной полносвязной нейронной сети // Цифровая обработка сигналов и её применение (DSPA 2024) (Москва, РФ)*
2. *The CIFAR-10 dataset [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.cs.toronto.edu/~kriz/cifar.html*
3. *Багаев И.И. Анализ понятий нейронная сеть и сверточная нейронная сеть, обучение сверточной нейросети при помощи модуля Tensorflow Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. 2020. Т. 8. № 1. С. 15-22.*
4. *Analysis of Dropout [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://pgaleone.eu/deep-learning/regularization/2017/01/10/anaysis-of-dropout*