

В.А. Вишняков¹, Е.И. Полоско

¹vish2002@mail.ru

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Минск, Республика Беларусь

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОЦЕНОК ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ, ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ, БЛОКЧЕЙН

В докладе предложена интеллектуальная система, которая автоматизирует факторный, корреляционный, регрессионный и нейросетевой анализы, обеспечивая сквозную обработку данных от источников до формирования аналитических отчетов. Описывается модель и архитектура системы, структура основных модулей, процесс подготовки входных данных и алгоритмы расчета интегральных показателей эффективности.

Ключевые слова: блокчейн, сеть IoT, система автоматизации.

Vladimir A. Vishniakov¹, Ekaterina I. Polosko

¹vish2002@mail.ru

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

INTELLIGENT SYSTEM A SYSTEM FOR EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF USING NEURAL NETWORKS, THE INTERNET OF THINGS, AND BLOCKCHAIN

The report proposes an intelligent system that automates factorial, correlation, regression and neural network analyses, providing end-to-end data processing from sources to the generation of analytical reports. The model and architecture of the system, the structure of the main modules, the input data preparation process, and algorithms for calculating integral performance indicators are described.

Keywords: blockchain, IoT network, automation system.

Введение

Существующие подходы к оценке эффективности внедрения цифровых технологий, как правило, фрагментарны: они либо фокусируются на одной технологии (например, только ROI от внедрения IoT), либо ограничиваются одним доменом (например, эффективность блокчейна в цепочках поставок). Комплексный статистический анализ (КСА), объединяющий факторный, корреляционный и регрессионный методы, позволяет выявить скрытые взаимосвязи, снизить размерность данных и построить прогнозные модели, но его реализация вручную требует значительных временных и экспертных ресурсов [1]. В работах автора [2, 3].

Уровни данных и архитектура системы комплексного статистического анализа

Разработанная система автоматизации КСА исходит из принципа «data-driven management», согласно которому все ключевые управленческие решения принимаются на основе формализованных показателей, получаемых из единого хранилища. Модульная микросервисная архитектура системы позволяет отделить уровень работы с данными от уровня аналитических сервисов и пользовательских приложений, обеспечивая масштабируемость и возможность независимого развития компонентов.

Архитектура системы комплексного статистического анализа (КСА) построена по многоуровневому принципу и включает блок данных, сервисный блок и пользовательский интерфейс. В блоке данных хранятся сырые, очищенные и агрегированные наборы показателей, а также результаты аналитических процедур и метаданные. Над ним расположен сервисный блок, реализованный в виде набора специализированных микросервисов: сервис загрузки данных (Data Loader), сервис предобработки (Preprocessor), сервис факторного анализа (Factor), сервис корреляционного анализа, сервис регрессионного анализа (Regression), сервис нейросетевого анализа (Neural), сервис визуализации (Visualizer) и сервис генерации отчетов (Reporter). Поверх сервисного уровня находится пользовательский интерфейс (веб-дашборд, API-шлюз, CLI-интерфейс, мобильное приложение), предоставляющий доступ к аналитическим сервисам для различных категорий пользователей. Общая схема архитектуры системы КСА показана на рисунке.

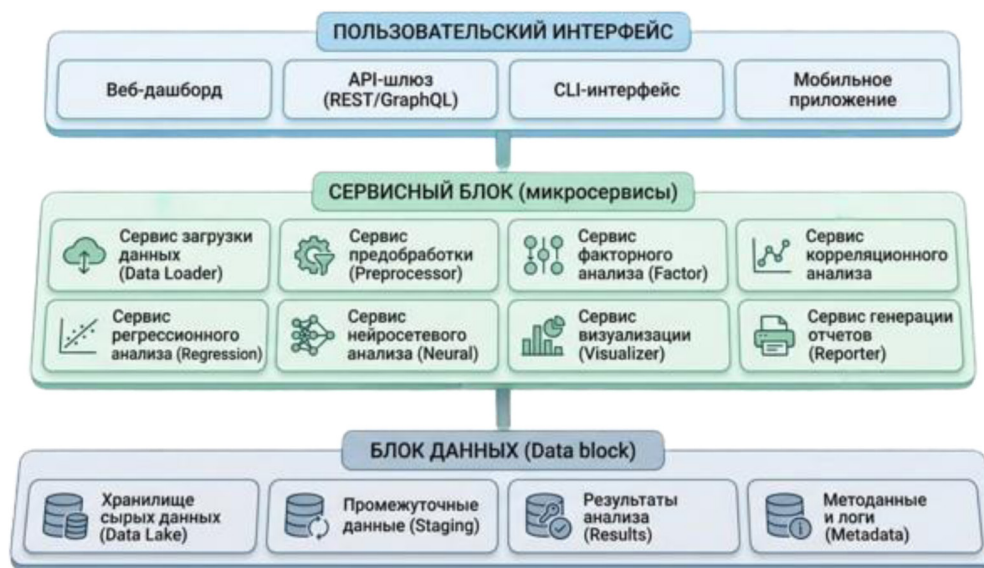


Рисунок. Архитектура системы КСА

Технологический стек включает: бэкенд: Python 3.11+ (FastAPI, asyncio); аналитические библиотеки: NumPy, Pandas, SciPy, Scikit-learn, Statsmodels, TensorFlow/PyTorch; базы данных: PostgreSQL (реляционные данные), MongoDB (документы и метаданные), InfluxDB (временные ряды); хранилище данных: MinIO (S3-совместимое объектное хранилище); очереди сообщений: RabbitMQ, Celery (асинхронные задачи); Визуализацию: Plotly/Dash, Grafana;

контейнеризацию: Docker, Kubernetes; мониторинг: Prometheus, Grafana, ELK Stack. Рассмотрим описание основных модулей.

Модуль загрузки данных (Data Loader). Модуль отвечает за подключение к источникам данных, извлечение информации и ее первичную регистрацию в хранилище. Ключевые компоненты: коннекторы к источникам: поддержка SQL, NoSQL, API, MQTT (для IoT-потокот), HL7/FHIR (для медицинских данных), LMS API (для образовательных данных); потоковая загрузка: обработка данных реального времени от IoT-датчиков; пакетная загрузка: импорт исторических данных из файлов и архивов; регистрация метаданных: фиксация времени загрузки, источника, формата, качества.

Модуль предобработки данных (Preprocessor). Модуль реализует все этапы подготовки данных, описанные в разделе 2. Его ключевые компоненты: очиститель (Cleaner): обработка пропусков, выбросов, дубликатов; трансформатор (Transformer): нормализация, стандартизация, дискретизация, создание признаков; валидатор (Validator): проверка качества и согласованности; управление потоковой обработкой пайплайнами (Pipeline Manager): построение и выполнение конвейеров обработки.

Модуль факторного анализа (Factor Analysis Module). Модуль реализует методы снижения размерности и выделения латентных факторов. Его ключевые компоненты: PCA-анализатор: метод главных компонент с автоматическим выбором числа компонент; факторный анализатор (FA): классический факторный анализ с вращением; интерпретатор факторов: расчет факторных нагрузок и формирование содержательных описаний; визуализатор: графики собственных значений, факторных нагрузок, проекции наблюдений.

Модуль корреляционного анализа (Correlation Module). Модуль выполняет расчет корреляционных связей и их мониторинг во времени. Ключевые компоненты включают: корреляционный калькулятор для расчета множества типов корреляций; детектор изменений для отслеживания динамики корреляций, выявление структурных сдвигов; корреляционный фильтр для выделения значимых связей с поправкой на множественное тестирование; визуализатор: корреляционные матрицы, тепловые карты, графы связей.

Модуль регрессионного анализа (Regression Module). Модуль строит прогнозные модели и оценивает влияние факторов. Его ключевые компоненты: регрессионный конструктор: реализация множественной, логистической, пошаговой, робастной регрессии, PCR, PLS; диагност: проверка предпосылок регрессионного анализа (тесты на нормальность, гетероскедастичность, мультиколлинеарность, автокорреляцию); селектор моделей: автоматический выбор лучшей модели по информационным критериям (AIC, BIC) или кросс-валидации; интерпретатор: расчет коэффициентов, доверительных интервалов, стандартизованных коэффициентов (бета-весов).

Модуль нейросетевого анализа (Neural Network Module). Модуль реализует глубокое обучение для прогнозирования и классификации. Ключевые компоненты: архитектурный конструктор: построение многослойных перцептронов

(MLP), сверточных (CNN) и рекуррентных (LSTM, GRU) сетей; автоматический подбор гиперпараметров: оптимизация архитектуры с использованием Optuna или Hyperopt; Обучение и валидация: реализация процедур обучения с ранней остановкой, регуляризацией, аугментацией данных; интеграция с регрессионным анализом: сравнение точности нейросетевых и статистических моделей.

Модуль расчета интегрального показателя (IEI Module). Модуль объединяет результаты всех видов анализа в единую метрику эффективности. Ключевые компоненты: калькулятор весов: расчет весовых коэффициентов α , β , γ , δ методом анализа иерархий или на основе экспертных оценок; нормализатор: приведение разнородных метрик к единой шкале [0,1]; агрегатор: вычисление IEI с учетом специфики домена; интерпретатор: качественная оценка уровня эффективности (низкий, средний, высокий).

Модуль визуализации (Visualization Module). Модуль обеспечивает наглядное представление результатов анализа. Ключевые компоненты: конструктор дашбордов: создание интерактивных панелей под конкретные задачи; библиотека шаблонов: предустановленные визуализации для каждого вида анализа; генератор отчетов: формирование документов с графиками и комментариями в форматах PDF, HTML, Excel; экспорт изображений: сохранение графиков в векторных (SVG, PDF) и растровых (PNG, JPEG) форматах.

Модуль управления пользователями и доступом (Auth Module). Модуль обеспечивает безопасность и разграничение прав доступа. Ключевые компоненты: аутентификация: поддержка OAuth2, JWT, LDAP/Active Directory; авторизация: ролевая модель (администратор, аналитик, просмотрщик); аудит: логирование всех действий пользователей; Управление проектами: изоляция данных разных организаций/подразделений.

Первичным звеном цепочки КСА является подсистема загрузки данных, реализующая единый контур интеграции информации из разнородных источников. В промышленном домене источниками выступают АСУТП, MES- и ERP-системы, IoT-датчики на оборудовании, системы учета энергопотребления. В образовательном домене источниками выступают LMS, электронные журналы, системы контроля доступа, цифровые следы активности студентов на образовательных платформах.

Для обеспечения воспроизводимого комплексного анализа используется слоистая модель организации единого хранилища данных. Выделяются по крайней мере четыре логических уровня.

Raw Data Layer (слой сырых данных). На этом уровне данные сохраняются в максимально близком к исходному виде, с минимальными техническими преобразованиями (приведение кодировок, базовая нормализация форматов дат и чисел). Слой служит «цифровым архивом», позволяя при необходимости повторить обработку с измененными параметрами или алгоритмами.

Cleansed Data Layer (слой очищенных данных). Здесь хранятся данные после базовой очистки: устранены явные дубликаты, исправлены или помечены некорректные значения, проведена первичная гармонизация справочников

и классификаторов. Этот уровень обеспечивает единое «качество по умолчанию» для всех последующих процедур анализа.

Aggregated Data Layer (слой агрегатов и витрин). На данном уровне формируются предметно-ориентированные агрегаты – сводные показатели по оборудованию, подразделениям, группам студентов, нозологиям, временным периодам. Для каждого домена определяются стандартные схемы агрегирования (например, почасовые или сменные показатели ОЕЕ для цехов, недельные агрегаты успеваемости и посещаемости, эпизодные показатели эффективности лечения). Витрины данных проектируются исходя из задач конкретных аналитических сценариев – факторного анализа, регрессионного моделирования, построения прогнозов.

Analytical Data Layer (аналитический слой). На этом уровне хранятся специальные представления и выборки, подготовленные под запуск конкретных моделей и вычислительных экспериментов: нормализованные выборки с заданными признаковыми пространствами, выборки для тестирования гипотез, обучающие и тестовые подвыборки для нейросетевых моделей. Здесь же могут сохраняться результаты кодирования категориальных признаков, матрицы признаков после снижения размерности, метки кластеров и т.п.

Слоистая модель реализуется на основе сочетания реляционных СУБД, систем временных рядов, документо-ориентированных хранилищ и объектного файлового хранилища. Это позволяет выбирать оптимальное хранилище под тип данных и характер обращений, одновременно сохраняя единую сквозную идентификацию сущностей и связей между ними.

Образовательный домен. Витрины формируются вокруг траекторий студентов и учебных дисциплин: средние и накопленные оценки, фактическая посещаемость, участие в онлайн-активностях, показатели вовлеченности. Для задач КСА дополнительно создаются производные агрегаты, характеризующие стабильность результатов, динамику прогресса, степень использования цифровых ресурсов.

Заключение

В докладе в результате поведенного исследования разработана интеллектуальная система для комплексного статистического анализа эффективности внедрения нейронных сетей, интернета вещей и блокчейн в трех ключевых доменах: промышленное производство, образовательный процесс и электронная медицина. Система автоматизирует факторный, корреляционный, регрессионный и нейросетевой анализы, обеспечивая сквозную обработку данных в учебных и научных исследованиях.

Список литературы

1. Wang X., McGreevy M. Automating Time Series Forecasting with Machine Learning // Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery. 2025. Vol. 15, № 2. P. 45-62.
2. Vishniakou U. A. *Specialized IoT Systems: Models, Structures, Algorithms, Hardware, Software Tools*. Minsk: Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. 2023:184.
3. Вишняков В.А., Качан Д.А. Технология блокчейн в образовании и ИТ-медицине: модели, алгоритмы, программные средства : [монография]. Минск: РИВШ, 2023. 184 с.