Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 004.89

Ходжиметов
Элер Шерзод угли

Модели и средства анализа медицинских снимков на основе компьютерного зрения

АВТОРЕФЕРАТ
на соискание степени магистра наук
по специальности 6-05-0611-03 – искусственный интеллект

Научный руководитель
Захарьев В.А.
кандидат технических наук, доцент

Минск 2026

Краткое введение

В последние десятилетия во всем мире наблюдается устойчивая тенденция к росту заболеваемости злокачественными новообразованиями кожи. Меланома, являясь наиболее агрессивной формой рака, требует выявления на максимально ранних стадиях, так как это критически влияет на прогноз выживаемости пациентов. Традиционный метод клинического осмотра с использованием дерматоскопии во многом зависит от квалификации врача и субъективности интерпретации визуальных признаков.

Развитие технологий искусственного интеллекта и глубокого обучения открывает новые возможности для объективизации процесса диагностики. Сверточные нейронные сети демонстрируют точность, сопоставимую с экспертным уровнем, однако большинство существующих программных решений ограничено рамками исследовательских прототипов. В современной медицинской практике существует острая потребность в масштабируемых, высокопроизводительных веб-ориентированных системах, которые не только классифицируют патологию, но и предоставляют Explainable AI для интерпретируемого обоснования принятого решения. Выбор среды Node.js и библиотеки TensorFlow.js в данной работе обусловлен необходимостью создания гибкой серверной архитектуры, способной обрабатывать интенсивные потоки медиаданных в режиме реального времени.

Проблематика автоматизированного анализа медицинских изображений широко представлена в работах таких зарубежных ученых, как A. Esteva, K. Codella и I. Haenssle. В отечественной науке фундаментальные вопросы обработки сигналов и построения интеллектуальных систем отражены в трудах исследователей в области медицинской кибернетики. Тем не менее, вопросы оптимизации времени выполнения глубоких моделей в асинхронных средах исполнения и интеграции методов визуализации градиентных карт Grad-CAM в серверные решения остаются актуальным направлением для инженерных изысканий.

Объектом исследования является процесс автоматизированной классификации цифровых дерматоскопических изображений.

Предметом исследования выступают алгоритмы глубокого обучения, методы цифровой фильтрации артефактов и архитектурные решения серверных систем на базе Node.js.

Целью работы является разработка и исследование программного комплекса для дифференциальной диагностики десяти нозологических групп кожных патологий с использованием интерпретируемых нейросетевых моделей.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

– провести сравнительный анализ существующих методов классификации кожных патологий и библиотек машинного обучения для серверной обработки данных;

– разработать модуль интеллектуальной предобработки изображений на основе алгоритма DullRazor для минимизации влияния визуальных артефактов на точность модели;

– оптимизировать и адаптировать архитектуру глубокой нейронной сети для обеспечения минимальных задержек в среде TensorFlow.js;

– реализовать механизм визуализации зон внимания классификатора на основе метода Grad-CAM для обеспечения прозрачности выводов системы;

– провести экспериментальную оценку точности распознавания на контрольной выборке и выполнить нагрузочное тестирование серверной части системы для оценки пропускной способности.

Научная новизна работы заключается в разработке оптимизированного программного конвейера обработки медицинских изображений в среде Node.js, обеспечивающего эффективное сочетание методов предварительной очистки данных DullRazor и механизмов интерпретируемого вывода Grad-CAM, что позволило повысить точность классификации в условиях вариативности входных данных.

Результаты исследования могут быть внедрены в практику медицинских учреждений в качестве систем поддержки принятия врачебных решений. Разработанный программный стек позволяет развертывать облачные диагностические сервисы, доступные с различных клиентских устройств, обеспечивая высокую скорость отклика и наглядность результатов для специалистов-дерматологов.

Общая характеристика работы

Целью диссертационной работы является разработка программно-алгоритмического комплекса на базе событийно-ориентированной архитектуры Node.js для интеллектуального анализа и классификации дерматологических изображений. В ходе исследования создана модифицированная модель на основе глубоких сверточных нейронных сетей, способная с высокой точностью дифференцировать десять нозологических групп кожных патологий. Для повышения качества диагностики реализовано алгоритмическое обеспечение предварительной обработки снимков, включающее фильтрацию шумов и семантическое удаление визуальных артефактов. Важной особенностью

системы стала интеграция механизмов объяснимого искусственного интеллекта (алгоритм Grad-CAM), что позволяет визуализировать диагностически значимые признаки и обосновывать решения классификатора. Экспериментальная оценка подтвердила эффективность предложенных решений: общая точность распознавания достигла 91,4, а серверная часть продемонстрировала высокую устойчивость к конкурентным нагрузкам. На основе разработанного комплекса могут быть сформированы независимые программные модули для популярных медицинских информационных систем и телемедицинских платформ, что обеспечит легкую интеграцию автоматизированного инструментария в существующие коммерческие продукты медицинского назначения.

Цель и задачи проводимых исследований

Целью диссертационной работы является разработка и исследование программно-алгоритмического комплекса для интеллектуального анализа дерматологических изображений на основе методов компьютерного зрения и событийно-ориентированной архитектуры, обеспечивающего повышение точности и интерпретируемости автоматизированной дифференциальной диагностики десяти типов нозологических групп кожных патологий.

Указанная цель определяет следующие задачи исследования:

– провести системный анализ современных архитектур глубокого обучения и существующих программных фреймворков для обработки медицинских изображений с целью выявления ограничений при их интеграции в высоконагруженные веб-ориентированные системы;

– разработать и программно реализовать алгоритмическое обеспечение предварительной обработки, включающее методы адаптивной фильтрации шумов, нормализации освещенности и семантического удаления визуальных артефактов;

– спроектировать и модернизировать программную архитектуру системы на базе среды исполнения, реализующую эффективное управление асинхронными потоками бинарных данных и обеспечивающую интеграцию нейросетевого ядра с клиентским интерфейсом;

– провести модификацию и обучение классификационной модели на основе глубоких сверточных нейронных сетей для обеспечения надежного распознавания десяти целевых типов патологий кожи в условиях высокой вариативности входных данных;

– реализовать механизмы объяснимого искусственного интеллекта с использованием методов градиентного картирования активации классов для

визуализации диагностически значимых признаков и повышения обоснованности автоматизированных заключений;

– выполнить экспериментальную оценку эффективности разработанных программных средств на репрезентативных выборках медицинских данных, оценив показатели точности, специфичности и чувствительности системы.

Объектом исследования является процесс автоматизированного анализа и классификации цифровых изображений новообразований кожи в специализированных информационных системах поддержки принятия врачебных решений.

Предметом исследования являются математические модели глубокого обучения, алгоритмы интеллектуальной обработки графических данных, а также программные архитектурные решения на стеке Node.js, обеспечивающие функционирование системы анализа медицинских снимков.

Связь работы с приоритетными направлениями исследований и запросами реального сектора экономики

Тема диссертации соответствует приоритетному направлению «Цифровые информационно-коммуникационные и междисциплинарные технологии, основанные на них производства» согласно пункта 1 перечня приоритетных направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 годы, утвержденных Указом Президента Республики Беларусь «О приоритетных направлениях научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 годы» от 07.05.2020 года № 156.

Личный вклад

Диссертационное исследование является квалификационной научной работой, выполненной самостоятельно на основе изучения отечественной и иностранной литературы, сравнительного анализа существую щих программных решений и проведения комплекса натурных вычислитель ных экспериментов. Личный вклад заключается в:

– проведении системного анализа современных архитектур глубокого обучения и фреймворков для обработки медицинских изображений с целью выявления ограничений их интеграции в веб-ориентированные системы;

– разработке и программной реализации алгоритмов предварительной обработки изображений (методов фильтрации, нормализации и удаления артефактов);

– проектировании и модернизации программной архитектуры системы, обеспечивающей асинхронное управление потоками данных и интеграцию нейросетевого ядра;

– модификации и обучении классификационной модели на основе глубоких сверточных нейронных сетей для распознавания десяти типов патологий кожи;

– реализации механизмов объяснимого искусственного интеллекта на основе методов градиентного картирования активации классов;

– выполнении экспериментальной оценки разработанных программных средств и расчете показателей точности, специфичности и чувствительности системы.

Опубликование результатов диссертации

Результаты исследований были опубликованы в виде материалов докладов на Международной научной конференции «Информационные технологии и системы 2024» и Международной научной конференции «Информационные технологии и системы 2025».

Апробирование результатов диссертации

Результаты исследований по теме диссертации были представлены в виде доклада «Система верификации диктора на основе векторного представления голоса» и представлены на Международной научной конференции «Информационные технологии и системы 2024» в 2024 году. Также работа была представлена на Международной научной конференции «Информационные технологии и системы 2025» в 2025 году в докладе «Архитектуры глубоких нейронных сетей для анализа медицинских изображений».

Краткое содержание работы

Во введении дается обоснование актуальности работы, связанное с ростом заболеваемости новообразованиями кожи и острой потребностью в высокопроизводительных веб-ориентированных системах диагностики. Описываются прикладные задачи, в которых может быть использована разработанная система, и приводится краткий обзор проблематики автоматизированного анализа медицинских изображений.

В первой главе произведен системный анализ существующих методологических подходов и программных инструментов, применяемых для интел-

лектуальной обработки медицинских данных. В разделе приведена специфика медицинских изображений как объекта компьютерного зрения и описаны жесткие требования к алгоритмам в медицинской диагностике. Также в данном разделе приводится широкий обзор нейросетевых подходов к анализу снимков, включая современные системы поддержки принятия врачебных решений. В заключении главы приводится критический анализ ограничений существующих подходов, таких как проблема «черного ящика» и дефицит обобщающей способности моделей.

Во второй главе приводится описание проектирования и программной реализации системы анализа дерматологических изображений. В первом разделе формализуются технические требования и обосновывается выбор событийно-ориентированной архитектуры серверной части на базе среды Node.js. В разделе приводится детальное описание алгоритмического обеспечения, включая методы предварительной обработки и алгоритм удаления визуальных артефактов DullRazor. Также в разделе описывается построение и модификация классификационной модели для распознавания 10 типов кожных патологий. В завершении главы обосновывается интеграция методов объяснимого искусственного интеллекта (XAI) с использованием алгоритма Grad-CAM для визуализации зон поражения.

В третьей главе приводится подробное описание экспериментальных исследований и оценки эффективности разработанной системы. В разделе описывается формирование контрольного набора данных из 2500 изображений и определяются метрики оценки. Представлен анализ точности распознавания десяти типов патологий, в ходе которого было доказано превосходство разработанной системы над базовым прототипом с ростом общей точности до 91,4%. В разделе также описаны результаты оценки производительности (стабильность при 50 конкурентных запросах) и проведена клиническая оценка механизмов интерпретируемости результатов.

В заключении приводится краткий обзор результатов, полученных на каждом из этапов исследования. Дается подтверждение того, что модернизированная система успешно функционирует как инструмент поддержки принятия решений, и приводится описание перспектив дальнейшей разработки, таких как интеграция в госпитальные информационные сети по протоколу DICOM.

Заключение

В ходе выполнения магистерской диссертации была решена актуальная научно-практическая задача по разработке программно-алгоритмического

комплекса интеллектуального анализа дерматологических изображений. В результате проведенных исследований и программной реализации получены следующие основные результаты:

1 Проведен системный анализ современных подходов к классификации кожных патологий, который выявил необходимость внедрения методов объяснимого искусственного интеллекта и повышения производительности серверных решений для работы в реальном времени.

2 Разработан и реализован конвейер предварительной обработки изображений, включающий модифицированный алгоритм удаления артефактов волосяного покрова и нормализации освещенности. Это позволило снизить уровень шума во входных данных и повысить фокусировку нейросетевых моделей на диагностически значимых признаках.

3 Спроектирована и внедрена масштабируемая программная архитектура на базе среды исполнения Node.js. Использование событийно-ориентированной модели позволило обеспечить высокую пропускную способность системы и эффективную асинхронную обработку бинарных медиафайлов.

4 Модифицирована классификационная модель на основе глубоких сверточных сетей, обеспечивающая распознавание десяти типов патологий. В ходе экспериментов доказано преимущество разработанной системы над базовым прототипом (MVP): общая точность классификации возросла с 78% до 91,4%.

5 Внедрены механизмы интерпретируемости на основе алгоритма Grad-CAM. Визуализация карт внимания подтвердила корреляцию между решениями нейросети и клиническими признаками заболеваний, что делает систему пригодной для использования в качестве инструмента поддержки принятия врачебных решений («second opinion»).

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы связаны с расширением набора распознаваемых нозологий и интеграцией системы в существующие госпитальные информационные сети (МИС/PACS) по протоколу DICOM. Перспективным направлением является разработка мобильного клиента с использованием технологий Edge AI для обеспечения возможности предварительного скрининга в условиях отсутствия стабильного интернет-соединения.

Список опубликованных работ

1–А. Ходжиметов, Э. Ш. Система верификации диктора на основе векторного представления голоса / Э. Ш. Ходжиметов // ИТС – 2024. – С. 2.

2–А. Ходжиметов, Э. Ш. Архитектуры глубоких нейронных сетей для анализа медицинских изображений / Э. Щ. Ходжиметов // ИТС – 2025. – С. 2.

3–А. Ходжиметов, Э. Ш. Визуализация зон интереса нейросетевых моделей в задачах интерпретации медицинских снимков / Э. Ш. Ходжиметов // СНТК – 2026. – С. 1.