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

УДК 004.8

Черкас
Елена Олеговна

Автоматизация медицинской ультразвуковой диагностики с помощью интеллектуального анализа изображений

АВТОРЕФЕРАТ
на соискание степени магистра наук
по специальности 7-06-0611-03 – искусственный интеллект

Научный руководитель
Голенков В.В.
профессор

Минск 2026

Краткое введение

Общая характеристика работы

Цель и задачи проводимых исследований

Целью диссертационной работы является повышение точности, скорости и воспроизводимости ультразвуковой диагностики за счет разработки и исследования методов интеллектуального анализа изображений для автоматического выделения диагностически значимых областей, выявления патологий и поддержки принятия решений врачом ультразвуковой диагностики.

Указанная цель определяет следующие задачи исследования:

1 Провести анализ современных методов и архитектур глубокого обучения (семантическая сегментация, детекция объектов, классификация), применяемых для анализа медицинских изображений, с акцентом на специфику ультразвуковых данных (наличие артефактов, низкий контраст, оператор-зависимость).

2 Сформировать и предобработать (нормализация, аугментация, разметка) датасет ультразвуковых изображений по выбранной нозологии (например, патологии щитовидной железы, печени, или плода) для обучения и валидации моделей.

3 Разработать и программно реализовать алгоритмическую pipeline-модель, включающую этапы предобработки изображений, сегментации области интереса и классификации ее состояния.

4 Обучить, валидировать и провести сравнительный анализ эффективности выбранных или модифицированных архитектур нейронных сетей (например, U-Net, DeepLab для сегментации; ResNet, EfficientNet для классификации) на собранном датасете.

5 Оценить клиническую значимость разработанного прототипа системы путем сравнения его метрик (точность, полнота, Dice coefficient) с результатами экспертной оценки врачей и существующими аналогами.

Объектом исследования является процесс автоматизированного анализа медицинских ультразвуковых изображений с использованием технологий компьютерного зрения и глубокого обучения.

Предметом исследования являются методы, алгоритмы и программные решения для семантической сегментации структур и классификации патологических состояний на ультразвуковых изображениях.

Личный вклад

Диссертационное исследование является квалификационной научной работой, выполненной соискателем самостоятельно на основе изучения отечественной и иностранной литературы, проведения всего цикла вычислительных экспериментов, включая разработку фрагментов программного обеспечения, формирование и подготовку данных, обучение и валидацию моделей глубокого обучения, а также анализ и интерпретацию полученных результатов.

Основные выводы, теоретические положения и практические разработки принадлежат автору диссертации и составляют содержание данной работы. К числу таких разработок, выполненных лично автором, относятся: метод предобработки ультразвуковых изображений, алгоритм автоматической сегментации области интереса на основе модифицированной архитектуры сверточной нейронной сети, и программный прототип системы поддержки принятия диагностических решений.

Опубликование результатов диссертации

По материалам выполненных исследований опубликовано 2 научные работы в сборниках материалов конференций и журнале, рекомендованном ВАК.

Апробирование результатов диссертации

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем», (Минск, 2023); «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем», (Минск, 2024) .

Краткое содержание работы

Заключение

В представленной магистерской диссертации проведено комплексное исследование, посвященное разработке и оптимизации методов интеллектуальной обработки ультразвуковых изображений на примере щитовидной железы. Целью работы было создание автоматизированного конвейера на основе глубокого обучения для решения задач семантической сегментации органа и

детекции патологических образований, способного повысить точность, воспроизводимость и эффективность диагностики.

Основные результаты работы заключаются в следующем:

1 На основе анализа современного состояния проблемы и специфики ультразвуковой визуализации был сформулирован и обоснован двухэтапный подход к анализу изображений: первоначальная семантическая сегментация щитовидной железы с последующей детекцией узловых образований в её границах. Такой подход позволяет снизить уровень ложноположительных срабатываний модели детекции за счет ограничения области поиска анатомически релевантной зоной.

2 Численные исследования показали, что предложенные и оптимизированные модели демонстрируют высокую и клинически значимую точность. Для задачи сегментации оптимальная конфигурация на базе U-Net с энкодером EfficientNet-B4 и комбинированной функцией потерь Dice+Focal достигла на независимой тестовой выборке коэффициента Дайса 90.47% и IoU 82.05%. Для задачи детекции адаптированная модель YOLOv8 с трансферным обучением показала результат 72.3% по метрике mAP@0.5. Ключевым фактором успеха стала разработанная стратегия аугментации данных, включающая специфические для УЗИ преобразования (имитация артефактов реверберации, затенения, зернистости), что повысило робастность моделей к вариативности реальных клинических данных.

3 Математическое моделирование и систематические эксперименты по оптимизации гиперпараметров с использованием фреймворка Optuna позволили выявить ключевые зависимости между архитектурными решениями, функциями потерь, стратегиями обучения и итоговым качеством моделей. Доказано, что трансферное обучение на основе весов, предобученных на крупных наборах данных (ImageNet, COCO), не только сокращает время обучения на 35%, но и статистически значимо улучшает метрики, особенно для мелких объектов. Анализ распределения ошибок выявил систематические закономерности: качество работы обратно пропорционально субъективной сложности случая (наличию артефактов, низкому контрасту) и прямо пропорционально размеру патологического образования.

4 Для выполнения поставленных задач был создан полный программно-алгоритмический комплекс, включающий: репрезентативный объединённый датасет ультразвуковых изображений щитовидной железы; воспроизводимый пайплайн предобработки и аугментации данных; оптимизированные модели сегментации (U-Net) и детекции (YOLOv8) с от-

крытым кодом и фиксированными зависимостями, развёрнутые в контейнеризированной среде; а также систему оценки, основанную на наборе взаимодополняющих метрик (Dice, IoU, mAP, точность, полнота).

Таким образом, в работе достигнута основная цель: разработан и экспериментально обоснован эффективный конвейер автоматизированного анализа ультразвуковых изображений щитовидной железы на основе глубокого обучения. Полученные результаты подтверждают принципиальную возможность и практическую целесообразность внедрения подобных систем в клиническую практику в качестве инструмента поддержки принятия врачебных решений (CAD-систем). Проведённое исследование вносит вклад в развитие методов компьютерного зрения для медицинской диагностики, а его итогом являются конкретные, верифицированные решения, готовые к дальнейшей апробации в реальных клинических условиях.

Список опубликованных работ

1–А. Черкас, Е. О. Автоматизация процесса ультразвукового исследования щитовидной железы с помощью интеллектуального анализа / Е. О. Черкас // Сборник научных трудов конференции "Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем". – 2024. – №8. – С. 285–292.

2–А. Черкас, Е. О. Купо, А. Н. Интеграция технологии OSTIS со сторонними NLP-сервисами / Е. О. Черкас, А. Н. Купо // Сборник научных трудов конференции "Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем". – 2023. – №7. – С. 126–130.