

ОТЗЫВ

официального оппонента

Мельник Ольги Владимировны

на диссертационную работу Хрящева Владимира Вячеславовича
«Система поддержки принятия врачебных решений на основе анализа
эндоскопических видеоизображений с применением методов искусственного
интеллекта», представленную на соискание ученой степени
доктора технических наук по специальности

2.2.12. Приборы, системы и изделия медицинского назначения

1. Актуальность темы исследования

Современный уровень развития технологий компьютерного зрения создает предпосылки для автоматизации анализа медицинских изображений и дальнейшего применения этих технологий в системе здравоохранения. Актуальной задачей является применение методов цифровой обработки видеоизображений и искусственного интеллекта для создания систем автоматизации диагностики при проведении эндоскопических исследований желудочно-кишечного тракта (ЖКТ).

Поиск и удаление предраковых аномалий – один из наиболее эффективных методов борьбы с колоректальным раком. При этом особую значимость для анализа видеоизображений здесь имеет такой класс объектов, как полипы толстого кишечника, так как именно они могут перерасти в рак на следующей стадии. В среднем при обследовании кишечника даже врачом высокой квалификации пропускается порядка 20% полипов. Таким образом, риск заболевания раком в значительной степени зависит от способности врача-эндоскописта обнаруживать полипы во время колоноскопической процедуры. Недавние исследования показали, что новые эндоскопические устройства и диагностические инструменты повысили вероятность обнаружения полипов. Тем не менее, проблема пропущенных полипов остается по-прежнему актуальной и имеет решающее значение в борьбе с онкологией толстого кишечника.

Также одним из самых распространенных онкологических заболеваний является рак желудка, занимающий второе место по смертности от злокачественных новообразований. Профилактика рака посредством ранней диагностики и адекватной терапии является наиболее эффективной стратегией повышения выживаемости пациентов. В рамках данного исследования ставится задача разработки системы автоматического детектирования патологических изменений слизистой оболочки желудка на эндоскопических изображениях. Использование такой системы в реальной

клинической практике позволит существенно повысить качество диагностики различных патологий желудка и выявления рака на ранних стадиях.

В отличие от широко распространенной автоматизации анализа лучевых и томографических изображений, обработка результатов видеоэндоскопии обладает рядом особенностей. Несмотря на все более совершенное устройство современных эндоскопов, для получаемых с них эндоскопических видеоизображений характерен ряд проблем, усложняющих их анализ:

- в силу конструктивных особенностей в видеоэндоскопах отсутствует автофокусировка, что часто приводит к отсутствию фокусировки на объекте интереса;
- при движении видеоэндоскопа в полости органа часто возникает размытие изображений;
- в ПЗС- или КМОП-матрице приемного устройства эндоскопа присутствует тепловой шум;
- на слизистой внутренних органов часто можно наблюдать блики, вызванные отражением света, испускаемого источником света видеоэндоскопа;
- яркость и контрастность получаемого эндоскопического изображения может сильно меняться в зависимости от геометрии исследуемого органа;
- на практике на выходе видеопроцессора эндоскопической системы обычно используется стандарт передачи видео с чересстрочной разверткой, что приводит к наличию на изображениях специфических искажений.

Таким образом, актуальной научно-технической задачей является применение алгоритмов цифровой обработки изображений и машинного обучения для создания систем поддержки принятия решений в комплексах эндоскопического прикладного телевидения. Применение таких систем позволит повысить точность диагностики, уменьшить влияние человеческого фактора на качество исследований, снизить стоимость и временные затраты на их проведение.

Целью диссертационной работы является повышение достоверности клинических и скрининговых эндоскопических исследований желудочно-кишечного тракта за счет применения методов глубокого машинного обучения для обработки и анализа видеоизображений. Таким образом, рассматриваемая диссертация направлена на решение актуальной научно-технической задачи.

2. Структура диссертации и ее краткое содержание

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы, содержащего 315 наименований, а также приложения с актами внедрения. Все структурные элементы диссертации, обязательные в подобных работах присутствуют.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы, сформулированы цель и задачи исследования, изложены основные положения, выносимые на защиту, показаны научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе рассмотрены существующие подходы к построению систем поддержки принятия врачебных решений (СППВР) для скрининговых и клинических эндоскопических исследований ЖКТ. Проведен обзор методов и алгоритмов искусственного интеллекта (ИИ) и цифровой обработки видеоизображений, применяемых для их построения.

Во второй главе описана разработанная концепция построения СППВР в эндоскопии ЖКТ и усовершенствованная архитектура системы ИИ, работающей в качестве ее программного ядра в условиях практической ограниченности входного набора аннотированных видеоизображений.

В третьей главе предложен метод контроля качества колоноскопического исследования. Для решения задачи разработан алгоритм детектирования купола слепой кишки на видеопоследовательностях, а также алгоритм определения некачественных изображений (размытых, неинформативных, с артефактами сжатия), сохраненных в медико-информационной системе в рамках проведенного скринингового колоноскопического исследования.

В четвертой главе рассмотрены задачи детектирования и сегментации колоректальных полипов – аномальных разрастаний ткани, выступающих над слизистой оболочкой. Своевременное и точное детектирование полипов кишечника, а также их удаление являются важнейшим элементом в его профилактике.

В пятой главе производится тестирование нейросетевых методов и алгоритмов детектирования и классификации патологий на эндоскопических видеоизображениях желудка.

В шестой главе производится тестирование предложенных методов и алгоритмов в рамках аппаратно-программных комплексов на эндоскопических видеоизображениях в условиях реальной клинической практики.

В заключении диссертации приводятся краткие итоги и выводы из

проведенного исследования.

В Приложении приводятся акты внедрения результатов работы.

3. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается использованием общепринятых методов глубокого машинного обучения, методов цифровой обработки изображений и компьютерного зрения, широкой апробацией результатов диссертационной работы, а также согласованностью между научными выводами и экспериментальными исследованиями.

Получены следующие основные научные результаты, которые служат основой для построения систем поддержки принятия врачебных решений:

- Разработана концепция построения СППВР в эндоскопии ЖКТ на основе методов и алгоритмов глубокого машинного обучения, отличающаяся оригинальными методами цифровой обработки изображений и видеопоследовательностей, которая позволяет расширить функциональные возможности ее применения в условиях практической ограниченности входного набора аннотированных видеоданных.
- Усовершенствована архитектура системы искусственного интеллекта, работающей в качестве программного ядра для СППВР, что позволило создать дополнительные модули и алгоритмы, результаты работы которых по точности обнаружения и классификации патологий на видеоданных сопоставимы со средним результатом, показываемым врачом во время эндоскопической процедуры.
- Предложена методология расширения баз эндоскопических изображений и видеоданных для обучения, валидации и тестирования систем искусственного интеллекта, позволяющая снизить нормированные трудозатраты врачей-эндоскопистов.
- Усовершенствованы с учетом специфики видеоэндоскопических данных алгоритмы обработки и анализа видеоизображений, учитывающие априорную информацию об объекте исследования и явление межкадровой корреляции видеоданных.
- Разработан метод для контроля качества колоноскопического исследования за счет реализации оригинальных алгоритмов детектирования купола слепой кишки, отличающийся использованием алгоритмов сопровождения областей интереса и анализа оптического

потока.

- Созданы робастные алгоритмы детектирования и сегментации полипов на колоноскопических видеоданных, работающие в условиях ограниченности входного набора аннотированных видеоизображений.
- Разработаны робастные алгоритмы детектирования и классификации аномальных областей (рак, ранний рак, иные патологии) на гастроскопических видеоизображениях желудка, позволяющие повышать достоверность диагностики в стандартном режиме, а также в режиме с оптическим увеличением.

4. Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, достигается за счет корректного применения методов глубокого машинного обучения, прикладной математической статистики, экспертного оценивания, цифровой обработки видеоизображений.

Достоверность разработанных методов подтверждается их корректным сравнением с результатами, известными из научно-технической литературы, проведенным тестированием аппаратно-программных комплексов в реальных клинических условиях.

Достоверность результатов исследований и их практическая значимость подтверждается использованием разработанных методов, алгоритмов и систем в ФГБУ «НМХЦ им. Н.И. Пирогова» Минздрава России (Пироговский центр, г. Москва), в ГБУЗ ЯО «Клиническая онкологическая больница» (г. Ярославль), в «Медицинский центр диагностики и профилактики» (г. Ярославль), а также в перспективные разработки компаний ООО «А-Вижн» (г. Ярославль), ООО «ЭМИС» (г. Ярославль).

Новизна результатов исследований подтверждена значительным количеством публикаций и участием соискателя в конференциях и форумах. По теме диссертации опубликовано 107 научных работ, которые включают 27 публикаций в журналах из перечня ВАК при Минобрнауки России, 3 публикации в журналах из перечня ВАК при Минобрнауки России по другим научным специальностям, 25 публикаций с индексацией в международной системе Scopus, 45 публикаций в сборниках трудов конференций (РИНЦ), 2 патента на изобретение РФ, 3 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ, 2 свидетельства о государственной регистрации баз данных. Основные результаты доложены на 49 научно-технических конференциях и форумах, в том числе на 3 пленарных докладах.

5. Соответствие диссертации паспорту специальности 2.2.12.

Приборы, системы и изделия медицинского назначения

Решенные в диссертации задачи соответствуют паспорту специальности 2.2.12. (технические науки) в части следующих направлений исследований:

- 2. Приборы, системы и аппаратно-программные комплексы для оценки текущего состояния, скринингового обследования, мониторинга, прогнозирования и диагностики состояния здоровья человека.
- 14. Методы, модели и алгоритмы, включая распознавание образов, для медицинских информационных и интеллектуальных систем, обеспечивающих повышение эффективности медико-биологических исследований и врачебных решений.
- 19. Методы и средства регистрации, анализа и интерпретации медицинских изображений.
- 20. Системы поддержки принятия врачебных решений и медико-технологических процессов, экспертные, информационные и управляющие системы медицинского назначения, обеспечивающие повышение качества медицинского обслуживания населения.
- 21. Методы и средства искусственного интеллекта для медико-биологических исследований.

6. Замечания по диссертационной работе

1. Не описаны существующие системы эндоскопических СППВР, работающие с использованием методов искусственного интеллекта (GI-Genius, CAD-EYE и др.). Это следовало бы сделать хотя бы в первой главе диссертации.
2. Ограниченно представлены результаты тестирования разработанных методов и алгоритмов глубокого машинного обучения на видеоданных. Основные результаты по алгоритмам детекции и сегментации (для колоректальных полипов и патологий желудка) представлены только для отдельных видеок кадров. Это несколько снижает практическую значимость результатов исследования.
3. Не приводятся данные о чувствительности (Sensitivity) и специфичности (Specificity) нейросетевых моделей, традиционно используемых для медицинской диагностики. Также было бы полезным привести сравнения метрик чувствительности/специфичности с мнением врачей-эндоскопистов (например, процент совпадений/расхождений в обнаружении полипов).

4. Модификации алгоритмов детектирования патологий, связанные с использованием методов и алгоритмов трекинга, описаны поверхностно. Остается непонятным практический выигрыш в использовании связки «алгоритм детектирования + алгоритм трекинга».
5. Выбор программной среды для разметки областей патологий LabelMe (с. 99–103) не достаточно обоснован с учетом объекта исследования – эндоскопических видеоданных. Альтернативные варианты (CVAT, Supervisely) возможно лучше адаптированы именно для разметки видеоданных (позволяют интерполировать метки между кадрами, проводить автоматический экспорт в формате JSON и др.). Следовало бы провести обоснование указанного выбора более подробно.
6. В главе 3 алгоритм Хорна-Шунка для анализа оптического потока описан формально, без оценки точности в задаче детекции купола слепой кишки. Не приводится информация, как найденное направление движения эндоскопа улучшает итоговую детекцию купола.
7. Не проведен анализ работы алгоритмов детектирования для мелких колоректальных полипов, хотя именно они чаще пропускаются при скрининговых обследованиях. Например, в базе Kvasir-SEG содержится только 4,5% полипов размером $\leq 64 \times 64$ пикселей. Не приводятся также данные, как нейросетевые алгоритмы работают с объектами < 5 мм (табл. 4.1).
8. Выдвигаемые требования к аппаратному обеспечению (видеокарты RTX 4080, 64 ГБ ОЗУ) делают разработанную систему финансово труднодоступной для большинства региональных клиник. Не рассмотрена возможность работы системы в «облегченной» версии на оборудовании более доступных конфигураций.

Указанные замечания не являются принципиальными и не снижают общего высокого уровня научной и практической значимости представленной диссертационной работы.

7. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней

С учетом совокупности полученных результатов можно считать, что представленная диссертация является законченной научной работой, которая содержит обоснованные и достоверные новые научные результаты, с помощью которых решена научная проблема, имеющая важное социально-экономическое значение в области разработки приборов, систем и изделий медицинского назначения.

Диссертационная работа «Система поддержки принятия врачебных

решений на основе анализа эндоскопических видеоизображений с применением методов искусственного интеллекта» соответствует критериям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор Хрящев Владимир Вячеславович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.12. Приборы, системы и изделия медицинского назначения.

Официальный оппонент, доктор
технических наук по специальности
05.11.17 – Приборы, системы и
изделия медицинского назначения,
доцент, профессор кафедры
«Информационно-измерительная и
биомедицинская техника»
ФГБОУ ВО «Рязанский
государственный радиотехнический
университет им. В.Ф. Уткина»

Ольга Владимировна Мельник

«16» сентября 2025 г.

Подпись официального оппонента Мельник О.В. удостоверяю.

Врио ученого секретаря ученого совета РГРТУ,
к.п.н., доцент



Е.А. Соколова

Контактные данные: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина», кафедра «Информационно-измерительная и биомедицинская техника». 390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1. Тел. +7 (4912) 72-03-03, rgrtu@rsreu.ru.