

На правах рукописи



Першин Илья Андреевич

**Глубокие модели в медицинской диагностике
на основе внимания рентгенолога**

Специальность 1.2.1.

«Искусственный интеллект и машинное обучение»

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Москва — 2025

Работа выполнена в ФГАОУ ВО «Казанском (Приволжском) федеральном университете» на базе кафедры прикладной математики и искусственного интеллекта института вычислительной математики и информационных технологий.

Научный руководитель: **Тумаков Дмитрий Николаевич**,
кандидат физико-математических наук, доцент,
заместитель директора по научной деятельности
Института вычислительной математики и информационных технологий ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

Официальные оппоненты: **Иващенко Антон Владимирович**,
доктор технических наук, профессор, директор
Передовой медицинской инженерной школы ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Кравец Алла Григорьевна,
доктор технических наук, профессор кафедры систем автоматизированного проектирования и поискового конструирования ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»

Ведущая организация: ФГАОУ ВО «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)»

Защита диссертации состоится «__» _____ 2025 г. в ____ часов на заседании диссертационного совета 24.1.224.03, созданного при федеральном государственном учреждении «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук» по адресу: 119333, г. Москва, ул. Вавилова, д. 42.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФИЦ ИУ РАН и на официальном сайте <http://www.frccsc.ru>.

Автореферат разослан «__» _____ 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.1.224.03,
кандидат технических наук



И.А. Рейер

Общая характеристика работы

Актуальность темы. В последнее десятилетие в клиническую практику массово внедряются решения на основе глубокого обучения. Это связано с двумя причинами. Во-первых, увеличение вычислительных мощностей и количества доступных аннотированных медицинских данных позволило разработать глубокие модели, которые в некоторых задачах сопоставимы или превосходят уровень человека-эксперта. Во-вторых, во время пандемии коронавируса COVID-19 было необходимо снизить избыточную нагрузку на систему здравоохранения, сохранив или повысив скорость и качество диагностики. Это привело к регуляторной поддержке и появлению большого количества решений на основе глубоких моделей для разнообразных клинических задач.

Несмотря на значительные достижения в области глубокого обучения для решения медицинских задач, остается проблема эффективного внедрения таких решений в клиническую практику. В ряде исследований показано, что использование решений на основе глубокого обучения может приводить к ухудшению качества диагностики и снижению производительности врача. Кроме того, сложность интерпретируемости решений на основе глубокого обучения и объяснения полученных предсказаний повышает риски использования (например, из-за галлюцинирования) таких решений в критически важных областях, включая здравоохранение.

Взаимодействие врача с решениями на основе глубокого обучения является качественным шагом вперед по сравнению с принятой парадигмой автономного использования решений на основе глубокого обучения. При таком подходе целью внедрения решений на основе глубокого обучения является повышение эффективности и качества работы медицинских специалистов, а не их замена. С одной стороны, врач обладает клиническим опытом, интуицией и человеческим интеллектом, с которым человечество умеет работать. С другой стороны, решения на основе глубокого обучения получены на основе автоматизированного анализа большого количества данных, способны находить сложные закономерности, работают быстрее человека и не имеют негативных эффектов от усталости. Взаимодействие врача и машины потенциально может нивелировать недостатки и усилить преимущества человека и машины по-отдельности.

Основным инструментом рентгенолога является визуальный анализ медицинского изображения. Во время визуального анализа можно отслеживать направление взгляда врача на изображении при помощи устройства для отслеживания взгляда. Анализ движения взгляда врача открывает возмож-

ности для оценки качества визуального анализа (например, путем оценки соответствия протоколам визуального анализа, оценки усталости врача), построения более гибких рекомендательных систем на основе глубоких моделей (например, за счет детектирования ошибок при визуальном анализе, их классификации и сопоставлении взгляда врача с предсказанием глубокой модели о наличии той или иной патологии), повышения качества глубоких моделей для анализа медицинских изображений, использования данных взгляда в качестве альтернативного способа ввода данных (например, для интерактивной сегментации).

Проблема использования данных взгляда заключается в небольшом количестве общедоступных наборов данных с отслеживанием взгляда, особенно для узких областей, таких как медицина. Это связано с высокой стоимостью проведения экспериментов с отслеживанием взгляда, в которых требуется разработка программного обеспечения и создание аппаратной установки, привлечение специалистов в качестве участников эксперимента. Из-за этого применение данных взгляда для глубоких моделей остается относительно малоизученной областью.

Одним из способов преодоления нехватки данных в глубоком обучении является создание синтетических или модифицирование реальных данных (например, путем применения методов маскирования текста при обработке естественного языка или аугментации изображений). Это позволяет не только разнообразить обучающую выборку, но и сделать глубокую модель более устойчивой к шуму, лучше понимать контекст. На основе этих рассуждений был выбран фокус диссертации на улучшении качества анализа медицинских изображений, путем использования данных о взгляде рентгенолога в глубоких моделях.

Объект исследования диссертации – медицинские изображения, в частности рентгеновские изображения грудной клетки и КТ-срезы органов брюшной полости.

Проблема – недостаточное качество моделей глубокого обучения для анализа медицинских изображений из-за ограниченного использования информации о визуальном внимании рентгенологов.

Предмет исследования – глубокие модели, использующие данные о взгляде, а также методы синтеза и анализа этих данных.

Целью диссертационной работы является разработка методов интеграции данных взгляда рентгенолога в глубокие модели для повышения качества решения клинических задач.

На основе этих рассуждений были поставлены следующие **задачи**:

1. Разработать глубокую модель, учитывающую семантическую информацию, для прогнозирования взгляда рентгенолога на рентгеновском изображении грудной клетки.

2. Разработать способ повышения качества глубокой модели для классификации патологий на рентгеновском изображении грудной клетки, использующий синтетические данные взгляда рентгенолога на этапе обучения модели.

3. Разработать и апробировать экспериментальную установку для анализа визуального поведения рентгенолога при анализе рентгеновских изображений. Провести валидирующие эксперименты с участием практикующих рентгенологов.

4. Разработать способ и глубокую модель для интерактивной сегментации медицинских изображений на основе взгляда. Провести тестирование модели в экспериментах с привлечением практикующих рентгенологов.

5. Разработать комплекс программ для проведения экспериментов по анализу медицинских изображений с отслеживанием взгляда в режиме реального времени и оконтуривания анатомических областей на медицинских изображениях на основе взгляда рентгенолога с использованием технологий искусственного интеллекта.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Глубокая модель, обогащенная семантической информацией, для предсказания взгляда рентгенолога на рентгеновском изображении грудной клетки.

2. Способ повышения качества глубокой модели и глубокая модель для классификации патологий на рентгеновском изображении грудной клетки, использующий синтетические данные взгляда рентгенолога на этапе обучения модели.

3. Экспериментальная установка для сбора и анализа данных визуального восприятия рентгенолога при анализе рентгеновских изображений, позволяющая выявлять устойчивые закономерности взгляда.

4. Способ и глубокая модель для интерактивной сегментации медицинских изображений на основе взгляда.

5. Комплекс программ для проведения экспериментов по анализу медицинских изображений с отслеживанием взгляда в режиме реального времени и оконтуривания анатомических областей на медицинских изображениях на основе взгляда рентгенолога с использованием технологий искусственного интеллекта.

Научная новизна:

1. Предложен и реализован метод предсказания траектории взгляда рентгенолога, основанный на интеграции в глубокую модель семантической информации, полученной методом логит-линзы из визуально-языковой модели, что обеспечивает улучшение точности по метрике ScanMatch до 48% по сравнению с базовыми моделями (глава 1) (Пункты 2, 4 и 13 паспорта специальности 1.2.1).

2. Предложен и разработан метод повышения точности классификации патологий на рентгеновских изображениях грудной клетки, заключающийся во включении синтетических данных взгляда на этапе обучения сверточной нейронной сети, что позволяет повысить AUROC на 10% по сравнению с моделью, использующей реальные данные взгляда (глава 2) (Пункты 2 и 4 паспорта специальности 1.2.1).

3. Разработана и валидирована экспериментальная установка для сбора и анализа данных визуального восприятия рентгенолога при интерпретации рентгеновских изображений, обеспечивающая выявление устойчивых паттернов взгляда и создающая основу для учета внимания врача в интеллектуальных медицинских системах (глава 3) (Пункт 6 паспорта специальности 1.2.1).

4. Предложен способ интерактивной сегментации медицинских изображений, использующий набор координат взгляда врача, как источник управления генерацией сегментационной маски, позволяющий улучшить качество сегментации и снизить ручные усилия при корректировке границ анатомических областей (глава 4) (Пункты 6 и 7 паспорта специальности 1.2.1).

Практическая значимость состоит в том, что разработанные глубокие модели и способы предназначены для повышения эффективности решения клинических задач и безопасности использования глубоких моделей в клинической практике.

Достоверность полученных результатов обеспечивается корректным тестированием разработанных решений, в том числе с привлечением экс-

пертов-рентгенологов; совпадением с результатами, полученными другими авторами; использованием глубоких моделей и способов в рамках реализации гранта РНФ №18-71-10072 «Разработка новых математических методов и алгоритмов анализа рентгеновских изображений органов грудной полости для автоматизации диагностики заболеваний легких с помощью решения задачи классификации изображений с высокой внутриклассовой и низкой межклассовой дисперсией» и гранта на создание центра искусственного интеллекта при поддержке аналитического центра при Правительстве Российской Федерации (Соглашение № 70-2021-00143 от 01.11.2021, ИГК № 000000D730321P5Q0002).

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на следующих международных научных конференциях уровня A* по искусственному интеллекту: Conference on Neural Information Processing Systems (США, 2024), IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (США, 2025), International Conference on Learning Representations (Сингапур, 2025). Также основные результаты работы докладывались на следующих международных конференциях: SPIE Medical Imaging (США, 2022 г.), Intelligent Systems Design and Applications (США, 2022 г.), IEEE Congress on Evolutionary Computation CEC (2023, США). Кроме того, основные результаты были представлены и обсуждались на итоговых научных конференциях сотрудников Казанского федерального университета (2022-2023 г.), внутренних семинарах университета Иннополис (2020-2025 гг.), во время совместной научной работы с коллективом республиканского клинического онкологического диспансера (РКОД) имени профессора М.З.Сигала (2024 г.).

Личный вклад. Все ключевые научные идеи, положения и методы, изложенные в диссертационной работе, разработаны лично автором. Автор является руководителем лаборатории искусственного интеллекта в медицине Университета Иннополис, поэтому в исследованиях принимали участие сотрудники лаборатории, которые под руководством автора осуществляли подготовку данных, обучение моделей, а также участие в организации взаимодействия с медицинскими экспертами.

Структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и заключения. Полный объем работы составляет 107 страниц с 17 рисунками и 14 таблицами. Список литературы содержит 127 наименований.

Краткое содержание работы

Во введении обоснована актуальность исследований, проведенных в рамках диссертационной работы, проведен обзор научной литературы по изучаемой проблеме, сформулирована цель, поставлены задачи работы, сформулированы научная новизна и практическая значимость представленной работы.

В первой главе представлена архитектура LogitGaze-Med – модель на основе архитектуры Трансформер, предназначенная для прогнозирования целенаправленного взгляда рентгенолога при анализе рентгеновского изображения грудной клетки. Модель объединяет три типа признаков: визуальные эмбединги изображения, текстовое описание цели поиска и семантическую информацию, извлекаемую из визуально-языковой модели LLaVA-Med с применением метода логит-линзы.

Проведённые эксперименты на специализированном наборе данных GazeSearch показали, что LogitGaze-Med превосходит существующие подходы (GazeFormer, HAT, ChestSearch) по всем ключевым метрикам качества предсказанной траектории взгляда (ScanMatch, SED, STDE), достигая прироста 20–30% (см. таблицу 1). Ключевым фактором повышения точности является сохранение соответствия между фрагментами изображения и их семантическими признаками. Эксперименты подтвердили, что нарушение такого соответствия приводит к резкому снижению качества предсказаний (см. таблицу 2).

Таблица 1 — Значения метрик схожести траекторий взгляда (чем выше, тем лучше для ScanMatch/STDE, чем ниже, тем лучше для SED).

Подход	ScanMatch $\uparrow$		SED $\downarrow$	STDE $\uparrow$
	w/o Dur.	w/ Dur.		
GazeFormer	0.293 ± 0.021	0.201 ± 0.015	5.11 ± 0.08	0.799 ± 0.004
HAT	0.309 ± 0.020	–	5.07 ± 0.07	0.800 ± 0.004
GazeSearch	0.332 ± 0.019	0.223 ± 0.014	4.88 ± 0.06	0.809 ± 0.004
LogitGaze	0.328 ± 0.018	0.225 ± 0.015	5.07 ± 0.07	0.810 ± 0.004
LogitGaze-Med (Res)	0.416 ± 0.017	0.325 ± 0.012	4.68 ± 0.05	0.852 ± 0.003
LogitGaze-Med (CheX)	0.419 ± 0.016	0.330 ± 0.010	4.68 ± 0.05	0.855 ± 0.003

Во второй главе диссертации исследуется влияние интеграции информации о направлении взгляда рентгенолога на качество автоматической классификации патологий на рентгеновских изображениях грудной клетки. Предложен подход, в котором синтетически сгенерированные траектории фиксаций взгляда, полученные при помощи различных моделей (GazeFormer, LogitGaze, LogitGaze-Med), используются в качестве дополнительной информации во время обучения сверточной нейронной сети. Рассматриваются три

Таблица 2 — Влияние семантической информации на предсказание взгляда.

Метод	ScanMatch w/o Dur	ScanMatch w/ Dur	MultiMatch Avg $\uparrow$
LogitGaze-Med (CheX)	0.419 $\pm$ 0.016	0.330 $\pm$ 0.010	0.820 $\pm$ 0.009
LogitGaze	0.328 $\pm$ 0.017	0.225 $\pm$ 0.020	0.776 $\pm$ 0.011
Random	0.159 $\pm$ 0.014	0.148 $\pm$ 0.016	0.269 $\pm$ 0.012
<i>LogitGaze-Med</i> _{shuf}	0.178 $\pm$ 0.016	0.158 $\pm$ 0.015	0.295 $\pm$ 0.013

Таблица 3 — Среднее значение AUROC по всем трем патологиям (норма, застойная сердечная недостаточность и пневмония) для каждой модели.

Источник взгляда	Baseline	Temporal	Static
Натуральные (Eye-Gaze)	0.77 $\pm$ 0.02	0.82 $\pm$ 0.03	0.87 $\pm$ 0.02
GazeFormer	0.78 $\pm$ 0.02	0.84 $\pm$ 0.02	0.89 $\pm$ 0.01
LogitGaze	0.80 $\pm$ 0.01	0.87 $\pm$ 0.02	0.90 $\pm$ 0.01
LogitGaze-Med	0.82 $\pm$ 0.01	0.90 $\pm$ 0.02	0.91 $\pm$ 0.01

варианта архитектуры: без учёта внимания (Baseline), с последовательной обработкой фиксаций (Temporal) и с использованием агрегированной тепловой карты (Static). Проведён сравнительный анализ качества классификации трех патологий (норма, застойная сердечная недостаточность, пневмония).

Проведенные эксперименты показывают, что интеграция синтетических данных взгляда существенно повышает точность классификации, при этом доменно-специфическая модель LogitGaze-Med, использующаяся для генерации синтетических данных, позволяет достичь наилучших результатов (см. таблицу 3). Полученные данные подтверждают применимость генеративных моделей внимания в медицинской диагностике и открывают перспективы создания масштабируемых и интерпретируемых ИИ-систем без необходимости сбора натуральных данных взгляда в большом количестве.

Третья глава диссертации посвящена разработке и валидации экспериментальной установки для отслеживания взгляда. Задача валидации установки формулируется как широко известная в литературе задача оценки усталости рентгенолога при длительном анализе рентгеновских снимков грудной клетки. В работе изучается, как покрытие области легких взглядом рентгенолога меняется со временем в зависимости от различных типов аномалий. Была разработана рабочая станция, имитирующая рабочую станцию рентгенолога, которая была дополнена функцией отслеживания взгляда рентгенолога (см. рисунок 1). Четыре практикующих рентгенолога с разным уровнем

опыта были привлечены к анализу рентгеновских изображений грудной клетки, в то время как их движения глаз, голос и команды контроллера рабочей станции записывались. Для сегментации области легких был применен подход на основе глубокого обучения, что позволило автоматически рассчитать площадь покрытия взглядом целевой анатомической области. Был разработан специальный протокол рандомизации медицинских изображений, чтобы минимизировать эффект особенностей визуального анализа для отдельных рентгенологов и зафиксировать общие тенденции в покрытии области легких взглядом для различных типов аномалий и различных временных точек эксперимента.

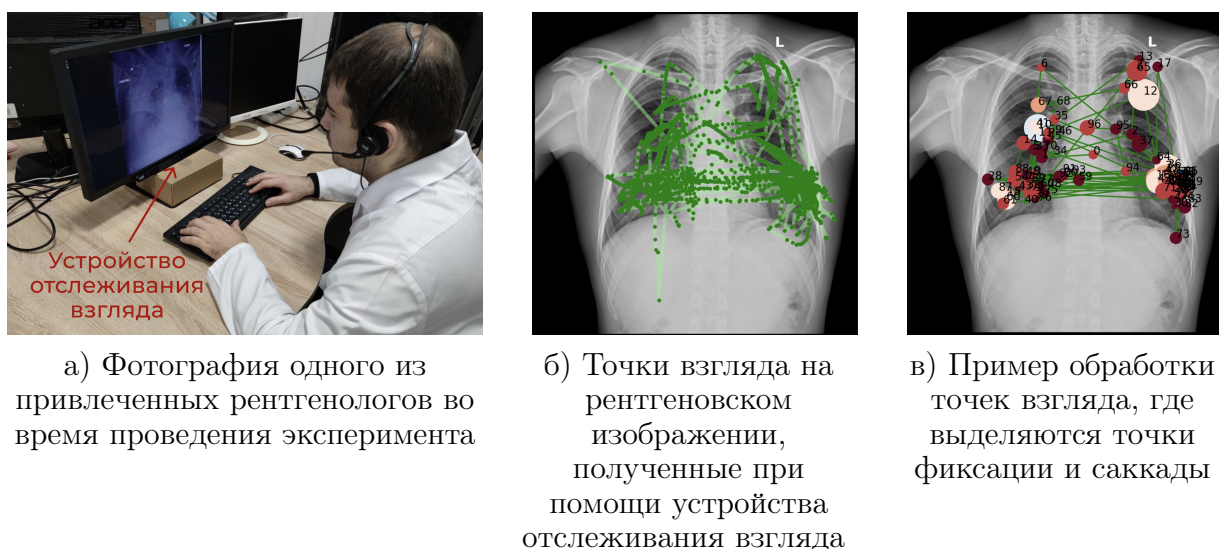


Рис. 1 — Демонстрация установки для отслеживания взгляда рентгенолога и пример обработки данных взгляда

Самооценка усталости, несмотря на широкое распространение опросников (например, SSQ и SOFI), не обеспечивает надёжной и объективной оценки когнитивного состояния рентгенологов. Основными ограничениями такого подхода являются его субъективность, зависимость от индивидуального восприятия и склонность участников подстраивать ответы под ожидаемый результат. Как показано в исследовании, самооценка не всегда отражает фактические изменения в поведении или диагностической эффективности. В то же время большинство объективных показателей (включая сокращение времени анализа, уменьшение доли покрытия лёгких взглядом, рост числа недействительных точек фиксации и пр.) статистически значимо коррелируют с количеством просмотренных снимков, что может указывать на рост утомления врача. Наибольшую корреляцию с ростом числа проанализированных снимков показала введенная метрика информационного прироста покрытия области легкого взглядом.

В четвертой главе предложен и экспериментально обоснован метод коррекции сегментации медицинских изображений с использованием информации о направлении взгляда врача. Исследование выполнено на основе данных компьютерной томографии органов брюшной полости с участием двух практикующих радиологов. Для проведения экспериментов с практикующими рентгенологами была использована экспериментальная установка из предыдущей главы с небольшими изменениями, которые позволили использовать модель интерактивной сегментации в эксперименте.

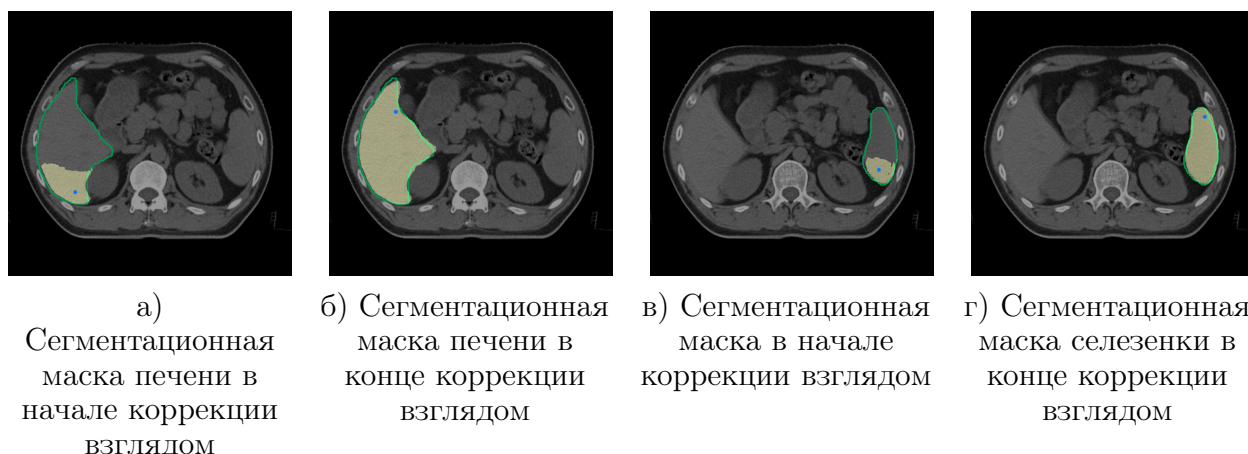


Рис. 2 — Процесс коррекции сегментационных масок для органов брюшной полости, таких как печень и селезенка, с визуализацией контуров эталонной маски сегментации (зеленая), прогнозируемой маски сегментации (желтая) и точек взгляда (синяя) на КТ-изображении

В рамках эксперимента врачи (А и В) выполняли сегментацию анатомических структур, первоначально задавая ограничивающие рамки, после чего производилась корректировка результата в реальном времени на основе зафиксированных точек фиксации взгляда (см. пример на рисунке 2). Показано, что использование данных взгляда позволяет существенно повысить точность сегментации, особенно для маленьких и сложно визуализируемых органов, таких как поджелудочная железа и двенадцатиперстная кишка (см. таблицы 4 и 5). Несмотря на увеличение времени выполнения задачи, достигнуто значительное улучшение метрики качества (коэффициент Дайса). Проведён подробный анализ ошибок и особенностей коррекции с привлечением независимого медицинского эксперта, выявивший как преимущества, так и ограничения предложенного подхода. Результаты подтверждают перспективность использования технологий отслеживания взгляда для повышения точности и надёжности систем медицинской визуализации.

На рисунке 3 представлена диаграмма решения проблемы (поставленной в рамках диссертации), иллюстрирующая вклад каждой из глав диссер-

Таблица 4 — Результаты коррекции масок с использованием взгляда для рентгенолога А.

Орган	Подход		Взгляд	
	Ограничивающие рамки Коэф. Дайса	Время, сек	Коэф. Дайса	Время, сек
Поджелудочная	0.554	3.14	0.509	5.02
Ободочная кишка	0.62	22.15	0.897	23.64
Тонкая кишка	0.497	20.69	0.627	24.54
Надпочечник	0.432	4.54	0.665	14.19
Головка бедра (Л)	0.148	9.67	0.541	7.68
Головка бедра (П)	0.244	6.06	0.587	19.41
Среднее	0.39	9.69	0.631	15.72

Таблица 5 — Результаты коррекции масок с использованием взгляда для рентгенолога В.

Орган	Подход		Взгляд	
	Ограничивающие рамки Коэф. Дайса	Время, сек	Коэф. Дайса	Время, сек
Печень	0.577	6.67	0.609	17.67
Пищевод	0.685	7.75	0.752	12.55
12-ти перстная к.	0.669	8.66	0.75	41.01
Ободочная кишка	0.573	9.48	0.668	58.42
Тонкая кишка	0.526	26.94	0.767	65.99
Прямая кишка	0.853	7.27	0.666	24.03
Мочевой пузырь	0.556	8.86	0.578	42.78
Среднее	0.617	13.58	0.715	41.78

тации и последовательную связь между ними. Глава 1 направлена на решение проблемы ограниченной доступности данных взгляда для рентгеновских снимков грудной клетки, путем разработки глубокой модели для генерации синтетических данных взгляда. В главе 2 предложен метод для повышения качества классификации патологий на рентгеновских снимках грудной клетки, путем использования синтетических данных взгляда из предыдущей главы. В главе 3 описана экспериментальная установка для сбора данных взгляда рентгенолога, которая была протестирована в экспериментах с практикующими рентгенологами. Разработанная установка с небольшими изменениями далее использовалась в главе 4 для интерактивной сегментации анатомических областей на КТ-снимках брюшной полости в режиме реального времени при помощи взгляда рентгенолога.

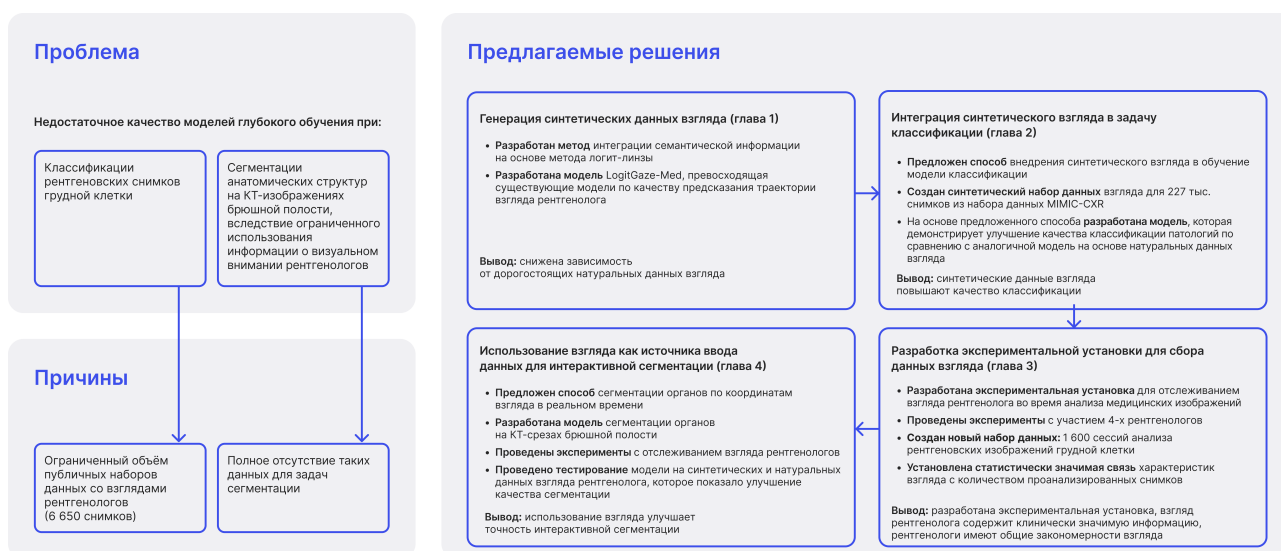


Рис. 3 — Диаграмма решения исследовательской проблемы, отражающая вклад каждой главы диссертации

Публикации автора по теме диссертации

Основные результаты по теме диссертации изложены в 3 публикациях, индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science. Сделаны доклады на 6 международных конференциях, включая А* конференции. Также имеется 1 патент, 1 база данных, 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Публикации в базах данных Scopus и Web of Science

1. I. Pershin, M. Kholiavchenko, B. Maksudov, T. Mustafaev, D. Ibragimova, and B. Ibragimov, "Artificial Intelligence for the Analysis of Workload-Related Changes in Radiologists' Gaze Patterns," IEEE J. Biomed. Health Inform., vol. 26, no. 9, pp. 4541–4550, Sept. 2022, doi: 10.1109/jbhi.2022.3183299.
2. I. Pershin, T. Mustafaev, D. Ibragimova, and B. Ibragimov, "Changes in Radiologists' Gaze Patterns Against Lung X-rays with Different Abnormalities: a Randomized Experiment," J Digit Imaging, vol. 36, no. 3, pp. 767–775, Jan. 2023, doi: 10.1007/s10278-022-00760-2.
3. L. Khaertdinova, T. Shmykova, I. Pershin, A. Laryukov, A. Khanov, D. Zidikhanov, B. Ibragimov, "Gaze Assistance for Efficient Segmentation Correction of Medical Images," IEEE Access, vol. 13, pp. 14199–14213, 2025, doi: 10.1109/access.2025.3530701.

Доклады на конференциях

1. I. Pershin, M. Kholiavchenko, B. Maksudov, T. Mustafaev, and B. Ibragimov, "AI-based analysis of radiologist's eye movements for fatigue estimation: a pilot study on chest X-rays," Medical Imaging 2022: Image Perception, Observer Performance, and Technology Assessment. SPIE, p. 39, Apr., 2022.
2. M. Kholiavchenko, I. Pershin, B. Maksudov, T. Mustafaev, Y. Yuan, and B. Ibragimov, "Gaze-based attention to improve the classification of lung diseases," Medical Imaging 2022: Image Processing. SPIE, p. 10, Apr., 2022.
3. I. Pershin, B. Maksudov, T. Mustafaev, and B. Ibragimov, "AI-Based Extraction of Radiologists Gaze Patterns Corresponding to Lung Regions," Lecture Notes in Networks and Systems. Springer Nature Switzerland, pp. 386–393, 2023.
4. I. Pershin, T. Mustafaev, and B. Ibragimov, "Contrastive Learning Approach to Predict Radiologist's Error Based on Gaze Data," 2023 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC). IEEE, pp. 1–6, Jul., 2023.
5. L. Khaertdinova, I. Pershin, T. Shmykova, B. Ibragimov, "Gaze-Assisted Medical Image Segmentation," Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS). Dec., 2024.
6. D. Lvov, I. Pershin, "LogitGaze: Predicting Human Attention Using Semantic Information from Vision-Language Models," The Thirteenth International Conference on Learning Representations (ICLR). Apr., 2025.
7. T. Shmykova, L. Khaertdinova, I. Pershin, "Zero-Shot Gaze-based Volumetric Medical Image Segmentation," Proceedings of the Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). Jun., 2025.

Результаты интеллектуальной деятельности

1. Патент Российской Федерации. Система и способ оценки усталости врача / И. А. Першин, Т. А. О. Мустафаев ; АНО ВО «Университет Иннополис». — № RU 2 800 312 C1 ; заявл. 30.12.2022 ; опубл. 20.07.2023, 2022135393 (ru). — 11 с. — Бюл. №20.
2. Першин И., Тумаков Д. База данных по отслеживанию взгляда рентгенологов во время анализа медицинских изображений и обучения моделей искусственного интеллекта. — 14.04.2025. — Дата регистрации: 14.04.2025, Бюл. № 4. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025623009.

3. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ. Программа для проведения экспериментов по анализу медицинских изображений с отслеживанием взгляда рентгенолога в режиме реального времени с использованием технологий искусственного интеллекта / И. Першин, Д. Тумаков ; АНО ВО «Университет Иннополис». — № RU 2025619063 ; опубл. 14.04.2025, 2025616836 (ru).

4. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ. Программа для оконтуривания анатомических областей на медицинских изображениях на основе взгляда рентгенолога с использованием технологий искусственного интеллекта / И. Першин, Т. Шмыкова, Л. Хаертдинова ; АНО ВО «Университет Иннополис». — № RU 2025619297 ; опубл. 14.04.2025, 2025616768 (ru).