



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(национальный исследовательский университет)»

Институт (Филиал) № 8 «Компьютерные науки и прикладная математика» Кафедра 806
Группа М8О-406Б-19 Направление подготовки 01.03.02 «Прикладная математика и
информатика»

Профиль Информатика

Квалификация: бакалавр

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

на тему: Программная диагностика и выявление острых патологий по снимку
ЭКГ

Автор ВКРБ:	Кондратьев Егор Алексеевич	(_____)
Руководитель:	Пивоваров Дмитрий Евгеньевич	(_____)
Консультант:	—	(_____)
Консультант:	—	(_____)
Рецензент:	—	(_____)

К защите допустить

Заведующий кафедрой № 806	Крылов Сергей Сергеевич	(_____)
_____ мая 2023 года		

Москва

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа бакалавра состоит из 34 страниц, 16 рисунков, 11 использованных источников.

ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММА, ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИЯ, РYTHON, ОЦИФРОВКА, ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ, КОМПЬЮТЕРНОЕ ЗРЕНИЕ

Объектом исследования являются электрокардиограмма для расшифровки и диагностирования результата.

Цель работы – является создание ПО, способного по фотоснимку ЭКГ выполнить расшифровку основных параметров и отклонения в них указывающие на острые патологии сердца.

В процессе работы проводились исследования точности различных способов извлечения графика из цифрового изображения в формате png, jpeg, программной расшифровки электрокардиограммы в основные метрики, выявления патологии по метрикам.

В результате исследования было разработано ПО, выявляющее основные параметры и отклонения в них указывающие на острые патологии по снимку ЭКГ.

Полученная программа может применяться для помощи врачам в расшифровке ЭКГ.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	4
ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ	6
ВВЕДЕНИЕ	7
1 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	10
1.1 Отделение неотложной медицинской помощи	10
1.2 Электрокардиограмма	11
1.3 Компьютерное зрение	12
1.4 Обработка изображений	15
1.5 Нормализация изображений	22
1.6 Оцифровка графиков	24
2 ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	25
2.1 Алгоритм работы	25
2.2 Тестирование	30
3 Заключение	32
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	34

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящей выпускной квалификационной работе бакалавра применяют следующие термины с соответствующими определениями:

Зубцы — представляют собой последовательность деполяризации и реполяризации предсердий и желудочков

Интервал — это время между двумя конкретными событиями ЭКГ.

Комплекс — сочетание нескольких сгруппированных волн. Единственный основной комплекс на ЭКГ — это комплекс QRS.

Отделение неотложной медицинской помощи — это отделение в составе более крупного медицинского учреждения, такого как поликлиника, амбулатория или центр общей врачебной практики. Его основная цель - оперативно и эффективно удовлетворять неотложные потребности пациентов в медицинской помощи, обеспечивая при этом их общее благополучие и безопасность. Неотложная медицинская помощь в таких условиях может оказываться парамедиками в качестве первичной доврачебной помощи или врачами, работающими в амбулатории и оказывающими первичную медицинскую помощь.

Программное обеспечение — это совокупность программных и документационных инструментов, предназначенных для разработки и управления системами обработки данных с использованием вычислительной техники.

Сегмент — длина между двумя конкретными точками на ЭКГ, которые должны иметь базовую амплитуду.

Фреймворк — (англ. framework — «остов, каркас, структура») — готовая модель в IT, заготовка, шаблон для программной платформы, на основе которого можно дописать собственный код. Проще говоря, фреймворк предлагает промежуточный вариант с точки зрения гибкости и сложности, находящийся между разработкой кода с нуля и использованием системы управления контентом. Если создание кода с нуля похоже на свободное рисование на чистом листе бумаги любыми инструментами, а использование системы управления контентом - на раскрашивание в заранее определенных границах, то использование фреймворка сравнимо с рисованием в блокноте в определенных рамках. Он по-прежнему позволяет свободно рисовать все, что угодно, но дает указания и предопределенные границы, облегчая процесс.

Фреймворки выгодны тем, что они решают множество сложных деталей, таких как управление файловой системой и базой данных, обработка ошибок и безопасность программы. Они берут на себя все эти аспекты, освобождая разработчиков от необходимости изобретать колесо для каждого проекта. Путаница между фреймворками и библиотеками возникает из-за их схожего функционала. В то время как фреймворк - это приложение, используемое для создания веб-сайтов или приложений, библиотека - это предварительно созданный компонент, предназначенный для выполнения определенных задач в рамках проекта. Например, существуют библиотеки для обработки файлов и вывода изображений на экран.

Электрокардиограмма — ценный и неинвазивный метод, используемый для оценки работы сердца. Она дает кардиологам важные и уникальные сведения о состоянии сердца пациента, не требуя при этом никакой специальной подготовки. Информация, полученная с помощью ЭКГ, является подробной и не может быть легко заменена, что делает ее незаменимым инструментом в оценке здоровья сердца.

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

В настоящей выпускной квалификационной работе бакалавра применяют следующие сокращения и обозначения:

ВКР — Выпускная квалификационная работа

ВКРБ — Выпускная квалификационная работа бакалавра

ОНМП — Отделение неотложной медицинской помощи

ПО — Программное обеспечение

ЭКГ — Электрокардиограмма

CV — Computer vision

ML — Machine Learning

PDF — Portable Document Format

ВВЕДЕНИЕ

Медицина, как отрасль, должна постоянно адаптироваться и развиваться вместе с научными достижениями. Однако некоторые области до сих пор полагаются на бумажную документацию, что снижает эффективность работы сотрудников и потенциально увеличивает количество ошибок при обработке информации. Для решения этой проблемы в качестве темы выпускной квалификационной работы бакалавра было выбрано создание функционала для расшифровки и анализа на острые патологии снимка ЭКГ для приложения ONMP. Основной целью данного проекта является повышение эффективности работы медицинских работников и снижение риска неблагоприятных исходов для пациентов.

Приложение ONMP призвано обеспечить медицинскому персоналу быстрый доступ к необходимой информации, упростить процессы документирования, минимизировать бумажную работу и повысить общую эффективность.

Целями приложения можно выделить:

- расшифровка и анализ снимка ЭКГ на острые патологии,
- поиск по энциклопедии с сортировкой,
- возможность обрабатывать шаблоны больного,
- быстро получать личную информацию больного,
- генерировать pdf-файл по шаблону для печати,
- иметь доступ к функционалу без интернета.

В настоящее время разработка подобных приложений находится на ранней стадии, имеется лишь прототип с ограниченной функциональностью. Тем не менее, очевидно, что эта тема актуальна и имеет огромный потенциал для дальнейшего развития. Такие приложения способны значительно улучшить жизнь людей, помочь им более эффективно распоряжаться своим временем и силами, а также повысить общую эффективность медицинских услуг.

Об актуальности именно моей части разработки. Наиболее распространенной причиной смерти является ишемическая болезнь сердца, на которую приходится 16% от общего числа смертей в мире. Ранняя и точная диагностика сердечно-сосудистых заболеваний имеет большое значение для снижения уровня смертности и улучшения результатов лечения пациентов.

Электрокардиограмма (ЭКГ) - это неинвазивный и широко используемый диагностический инструмент, который регистрирует электрическую активность сердца. Она предоставляет важнейшую информацию о ритме, частоте и проводящей системе сердца и может помочь выявить широкий спектр сердечных заболеваний, включая острые патологии.

Однако интерпретация ЭКГ требует специальной подготовки и опыта, что может отнимать много времени и чревато ошибками. Программная расшифровка ЭКГ, с другой стороны, использует передовые алгоритмы и компьютерное программное обеспечение для анализа и интерпретации сигналов ЭКГ, предлагая ряд преимуществ по сравнению с ручной расшифровкой. Среди них - исключение возможности человеческой ошибки при чтении и интерпретации ЭКГ-сигнала и обеспечение быстрой и точной диагностики острых патологий.

Важность программной расшифровки ЭКГ в кардиологии еще больше подчеркивается растущим спросом на услуги удаленного здравоохранения. С появлением телемедицины пациенты могут получать медицинские консультации и диагнозы из удаленных мест. Программное обеспечение для расшифровки ЭКГ может сыграть решающую роль в облегчении этого процесса, обеспечивая точную и надежную интерпретацию сигналов ЭКГ.

Кроме того, использование цифровых технологий в здравоохранении становится все более важным и необходимым для врачей. Цифровая медицинская карта обеспечивает быстрый и удобный доступ к информации о пациенте, повышая эффективность и точность диагностики и лечения. Она также позволяет хранить и обрабатывать большие объемы данных о пациентах, что необходимо для проведения исследований и разработки новых методов лечения. Кроме того, она предоставляет врачам доступ к общей истории лечения пациента, включая предыдущие медицинские состояния, что повышает качество и эффективность лечения.

Использование цифровых медицинских карт также снижает вероятность ошибок и искажений при заполнении и хранении информации о пациенте, обеспечивая безопасность и конфиденциальность медицинских данных. Кроме того, это современный и удобный подход к организации работы медицинских учреждений и обслуживанию пациентов, способствующий повышению уровня медицинского обслуживания и общего качества жизни населения.

В заключение следует отметить, что разработка точного и надежного программного обеспечения для диагностики и выявления острых патологий на изображениях ЭКГ имеет большое значение в области кардиологии. Предложенное решение может помочь повысить качество и эффективность медицинских услуг, особенно в экстренных ситуациях. Кроме того, использование цифровых технологий в здравоохранении становится все более важным и необходимым для врачей, обеспечивая современный и удобный подход к организации работы медицинских учреждений и обслуживанию пациентов.

Таким образом, выполненная работа актуальна с научной, методологической, теоретической и практической точек зрения, способствуя повышению качества медицинских услуг и улучшению результатов лечения пациентов.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 Отделение неотложной медицинской помощи

Отделение неотложной медицинской помощи является неотъемлемым и важнейшим структурным подразделением поликлиники или амбулаторно-поликлинического учреждения. Оно функционирует как специализированное подразделение, известное как отделение неотложной медицинской помощи, которое занимается оказанием немедленной и оперативной медицинской помощи лицам, столкнувшимся с внезапными острыми заболеваниями, состояниями или обострениями хронических недугов. Важно отметить, что помощь, оказываемая в этом отделении, специально предназначена для случаев, не представляющих угрозы для жизни и не требующих экстренной специализированной медицинской помощи.

Основная задача отдела неотложной медицинской помощи - оперативно и эффективно удовлетворять неотложные потребности пациентов в медицинской помощи, обеспечивая при этом их общее благополучие и безопасность. Это подразделение продуманно организовано в структуре поликлиники, которая служит комплексным медицинским учреждением, включающим в себя амбулаторные услуги, общую медицинскую помощь и центр врачей общей практики или семейной медицины.

Медицинская помощь, оказываемая в отделении неотложной помощи, направлена на немедленное и эффективное лечение внезапных кризисов здоровья, острых заболеваний или обострений хронических заболеваний, не представляющих угрозы для жизни. Эта специализированная помощь может оказываться различными способами, в зависимости от тяжести и срочности каждого случая. Парамедики, обученные первичной доврачебной медико-санитарной помощи, способны оказывать первичную медицинскую помощь на месте чрезвычайной ситуации, тем самым расширяя сферу деятельности отделения за пределы поликлиники. Кроме того, врачи поликлиники оснащены всем необходимым для оказания первичной медико-санитарной помощи в отделении неотложной помощи, обеспечивая комплексное и непрерывное обслуживание.

Благодаря размещению отделения неотложной медицинской помощи в структуре поликлиники пациенты имеют доступ к широкому кругу

медицинских специалистов, учреждений и ресурсов, что в совокупности улучшает их медицинское обслуживание. Такая интеграция службы неотложной помощи в более широкое медицинское учреждение способствует созданию непрерывного процесса оказания помощи, гарантируя, что пациенты получают соответствующий уровень медицинской помощи, необходимый для эффективного решения их неотложных медицинских потребностей. При изучении использовались ресурсы: [1], [2], [3].

1.2 Электрокардиограмма

Электрокардиограмма (ЭКГ) - это жизненно важный диагностический инструмент, используемый для исследования функции сердца, предлагающий неинвазивный и неспециализированный метод подготовки. С помощью ЭКГ кардиологи получают доступ к подробной и незаменимой информации о состоянии здоровья сердца пациента.

Эта диагностическая процедура имеет важное значение, поскольку позволяет получить ценные сведения о состоянии сердца пациента. Записывая электрическую активность сердца, ЭКГ позволяет кардиологам оценить различные аспекты сердечной деятельности, такие как частота сердечных сокращений, ритм, наличие каких-либо отклонений или нарушений. Эти данные имеют решающее значение для диагностики и мониторинга различных заболеваний, связанных с сердцем, что позволяет своевременно принимать необходимые меры для оптимизации лечения пациентов.

Неинвазивный характер ЭКГ делает ее привлекательной и доступной для пациентов, поскольку она не требует специальной подготовки или инвазивных процедур. Она включает в себя установку электродов на кожу пациента, которые улавливают и регистрируют электрические сигналы, генерируемые сердцем. Эта безболезненная процедура может быть выполнена быстро, что делает ее удобным и эффективным средством оценки сердечной функции.

Информация, полученная с помощью ЭКГ, является уникальной и незаменимой в области кардиологии. Она дает кардиологам полный обзор состояния сердца пациента, помогая выявить потенциальные отклонения, такие как аритмии, нарушения проводимости или ишемические изменения. Кроме того, ЭКГ служит в качестве исходного уровня для будущих сравнений, облегчая отслеживание состояния сердца пациента с течением времени.

В целом, электрокардиограмма служит фундаментальным и бесценным диагностическим инструментом в области кардиологии. Ее неинвазивный характер, простота использования и способность предоставлять подробную информацию о состоянии сердца пациента делают ее важным компонентом комплексной оценки состояния сердца. Используя возможности ЭКГ, кардиологи могут собирать важнейшие данные для диагностики, планирования лечения и постоянного мониторинга, что в конечном итоге повышает качество обслуживания и улучшает результаты лечения пациентов. При изучении использовались ресурсы: [4], [5].

1.3 Компьютерное зрение

Компьютерное зрение - это междисциплинарная область, которая объединяет различные методы из информатики, математики и нейронауки, позволяющие компьютерам понимать и интерпретировать визуальную информацию. Она включает в себя разработку алгоритмов и моделей, которые могут анализировать и извлекать значимую информацию из цифровых изображений или видео.

Машинное обучение, в частности сверточные нейронные сети (CNN), сыграло значительную роль в продвижении задач компьютерного зрения. CNN - это тип модели глубокого обучения, специально разработанный для обработки данных, похожих на сетку, таких как изображения. Они состоят из нескольких слоев взаимосвязанных узлов, которые выполняют сверточные операции, позволяя сети изучать иерархические представления визуальных характеристик.

Задачи компьютерного зрения, в которых используются методы машинного обучения, включают:

- Классификация изображений: Эта задача включает в себя присвоение метки или класса входному изображению, например, определение того, есть ли на изображении кошка или собака. CNN отлично справляются с классификацией изображений, обучаясь распознавать и различать различные визуальные модели,
- Обнаружение объектов: Обнаружение объектов направлено на поиск и классификацию нескольких объектов в кадре изображения или видео. Это включает в себя построение ограничительных рамок вокруг обнаруженных объектов и присвоение им соответствующих

меток. Подходы на основе CNN, такие как популярные Faster R-CNN и YOLO (You Only Look Once), значительно расширили возможности обнаружения объектов,

- Сегментация изображения: Сегментация изображения подразумевает разделение изображения на значимые области или сегменты. Эта задача позволяет получить более точную информацию об объектах, присутствующих на изображении. Для сегментации изображений обычно используются CNN с архитектурами типа U-Net и Mask R-CNN,
- Обработка изображений: Методы компьютерного зрения также включают в себя различные задачи обработки изображений, такие как обесцвечивание, улучшение, восстановление и суперразрешение. Для решения этих задач используются методы машинного обучения, включая CNN и генеративные состязательные сети (GAN).

Компьютерное зрение имеет широкий спектр применения, включая автономные транспортные средства, распознавание лиц, системы наблюдения, медицинскую визуализацию, дополненную реальность, робототехнику и многое другое. Достижения в области машинного обучения, особенно глубокого обучения, внесли большой вклад в прогресс и успех систем компьютерного зрения в последние годы.

Существуют дополнительные задачи и приложения, которые возникают благодаря распознаванию образов и компьютерному зрению. Давайте рассмотрим некоторые из них:

- Поиск изображений по контексту: Поиск изображений по контексту подразумевает извлечение изображений из большого набора данных на основе определенных критериев или сходства. Это может быть сделано путем поиска изображений, похожих на целевое изображение, или с помощью текстовых описаний для поиска определенных атрибутов или объектов на изображениях. Эта задача требует применения таких методов, как поиск изображений на основе содержания, и может быть полезна в различных областях, таких как электронная коммерция, системы управления содержанием и базы данных изображений,
- Обнаружение положения: Определение положения включает в себя

оценку положения, ориентации или позы объекта относительно камеры или опорной точки. Это очень важно в таких приложениях, как роботизированные манипуляции, дополненная реальность и автономная навигация. Алгоритмы компьютерного зрения могут анализировать визуальные данные и предоставлять информацию о положении объекта, обеспечивая точное управление и взаимодействие с окружающей средой,

- Оптическое распознавание символов: OCR - это технология, которая распознает и извлекает текст из изображений или отсканированных документов. Она включает в себя идентификацию отдельных символов или областей текста и преобразование их в машиночитаемые и редактируемые форматы. OCR находит применение в оцифровке печатных документов, автоматизированном вводе данных, индексировании документов и преобразовании текста в речь,
- Распознавание лиц: Распознавание лиц - это популярная задача компьютерного зрения, которая включает в себя идентификацию или проверку людей на основе их черт лица. В ней используются алгоритмы для обнаружения и анализа лицевых ориентиров, узоров и уникальных характеристик. Распознавание лиц имеет различные применения, включая системы проверки личности, системы наблюдения, контроль доступа и маркировку в социальных сетях,
- Распознавание формы: Распознавание формы включает в себя понимание и интерпретацию форм или рисунков, сделанных людьми. Они могут варьироваться от простых геометрических фигур до более сложных объектов. Эта задача требует алгоритмов, которые могут анализировать и классифицировать визуальные модели на основе их форм. Распознавание форм находит применение в распознавании эскизов, цифровом искусстве, интерпретации диаграмм и автоматизированном проектировании.

Эти дополнительные задачи расширяют возможности и сферы применения компьютерного зрения, демонстрируя его широкое влияние в различных областях и отраслях. При изучении использовались ресурсы: [6], [7], [8].

1.4 Обработка изображений

Обработка изображений особенно актуальна по нескольким причинам.

Во-первых, задачи компьютерного зрения часто требуют огромных объемов данных. Обучение моделей такого объема может быть чрезвычайно ресурсоемким и дорогостоящим. Для решения этой проблемы такие компании, как OpenAI, часто публикуют архитектуры своих моделей и параметры обучения в открытом доступе, позволяя другим использовать предварительно обученные модели. Однако тонкая настройка этих моделей с помощью трансфертного обучения, которое предполагает их адаптацию для конкретных случаев использования, в значительной степени зависит от методов обработки изображений. Именно благодаря обработке изображений реальные приложения могут по-настоящему процветать и развиваться.

Изображения также могут сбивать с толку даже человеческий глаз:



Рисунок 1 – Это кошка или круассан?

Способность тщательно обрабатывать, стандартизировать и дополнять изображения с помощью различных методов обработки играет решающую роль в повышении реалистичности и автоматизации сложных задач.

Применяя обработку изображений, проблемы, связанные с этими сложными задачами, становятся более решаемыми, что облегчает автоматизированный анализ и интерпретацию.

Наконец, необходимо признать, что модели CV неизменно требуют ввода данных в виде изображений. Фактически, для приложений, основанных на видео, используются последовательности изображений. Это подчеркивает центральную роль изображений как основы для задач компьютерного зрения, подчеркивая важность методов обработки изображений для извлечения значимой информации и понимания из визуальных данных.

Таким образом, обработка изображений играет ключевую роль в компьютерном зрении, обеспечивая эффективную обработку данных, повышая адаптивность моделей и служа шлюзом для извлечения ценных знаний из визуальных данных.

Обработка изображений - это ряд операций, направленных на улучшение качества изображений для задач компьютерного зрения, чтобы они могли быть более предсказуемыми.

Когда целью этих операций является увеличение количества доступных изображений, это обычно называют расширением изображений или данных. Это подразумевает создание дополнительных вариаций существующих изображений с помощью таких методов, как вращение, масштабирование, переворачивание, обрезка или введение случайного шума.

Важно отметить различие между предварительной обработкой изображений и дополнением данных. Предварительная обработка изображений применяется как на этапе обучения, так и во время вывода, обеспечивая надлежащую подготовку изображений к анализу. С другой стороны, увеличение данных применяется исключительно на этапе обучения, происходит после предварительной обработки изображений и служит для расширения разнообразия и надежности набора данных для обучения.

Входные данные для этих процессов обычно состоят из векторов признаков, представляющих интенсивность необработанных пикселей изображения. Эти векторы организованы в формате $H \times W \times C$, где H обозначает высоту изображения в пикселях, W - ширину в пикселях, а C - количество цветовых каналов, таких как красный, зеленый и синий (RGB).

Используя методы обработки изображений, исследователи и практики могут уточнять и оптимизировать визуальные данные, используемые в

задачах компьютерного зрения, что в конечном итоге повышает точность, надежность и обобщающую способность соответствующих моделей.

Методы обработки изображений играют решающую роль в корректировке значений пикселей и формы изображений для создания стабильной математической основы для моделей. Некоторые выдающиеся методы в этой области включают:

- Нормализация: Эта техника включает преобразование значений пикселей в диапазон от 0 до 1. Нормализация особенно полезна, когда данные не соответствуют гауссовскому распределению. Путем изменения масштаба значений пикселей нормализация обеспечивает согласованное представление данных на различных изображениях,
- Центрирование и стандартизация: Методы центрирования и стандартизации направлены на установление нулевого среднего значения для значений пикселей. Центрирование по изображениям корректирует каждое изображение отдельно, а центрирование по набору данных вычисляет среднее значение по всему набору данных. Стандартизация, в дополнение к центрированию, также направлена на достижение единичной дисперсии. Эти методы полезны, когда данные имеют гауссовское распределение. Рекомендуется поэкспериментировать с обоими подходами и выбрать тот, который обеспечивает наилучшую производительность для данной задачи,
- Изменение размера: Изменение размера используется для изменения формы изображений, делая их однородными по размеру или масштабируя их с сохранением соотношения сторон. Эта техника гарантирует, что все изображения имеют одинаковые размеры или подвергаются последовательной корректировке размеров. Изменение размера упрощает обработку данных и позволяет моделям эффективно обрабатывать изображения,
- Преобразование цветового канала: Преобразование цветовых каналов направлено на изменение количества цветовых каналов в изображении. Обычно оно включает преобразование изображений в формат градаций серого (1 канал), RGB (3 канала) или RGBA (4 канала), где RGBA включает альфа-канал, обозначающий

непрозрачность. Эта техника обеспечивает совместимость с моделями, требующими определенных конфигураций цветовых каналов, а также может упростить вычисления и снизить сложность в определенных сценариях.

Благодаря применению этих методов обработки изображений данные, предоставляемые моделям компьютерного зрения, становятся более стандартизированными, что позволяет повысить производительность модели, улучшить обобщение и эффективно анализировать визуальную информацию.

Техники дополнения изображений гораздо более многочисленны, и лучший способ понять применяемые ими преобразования - визуальный:

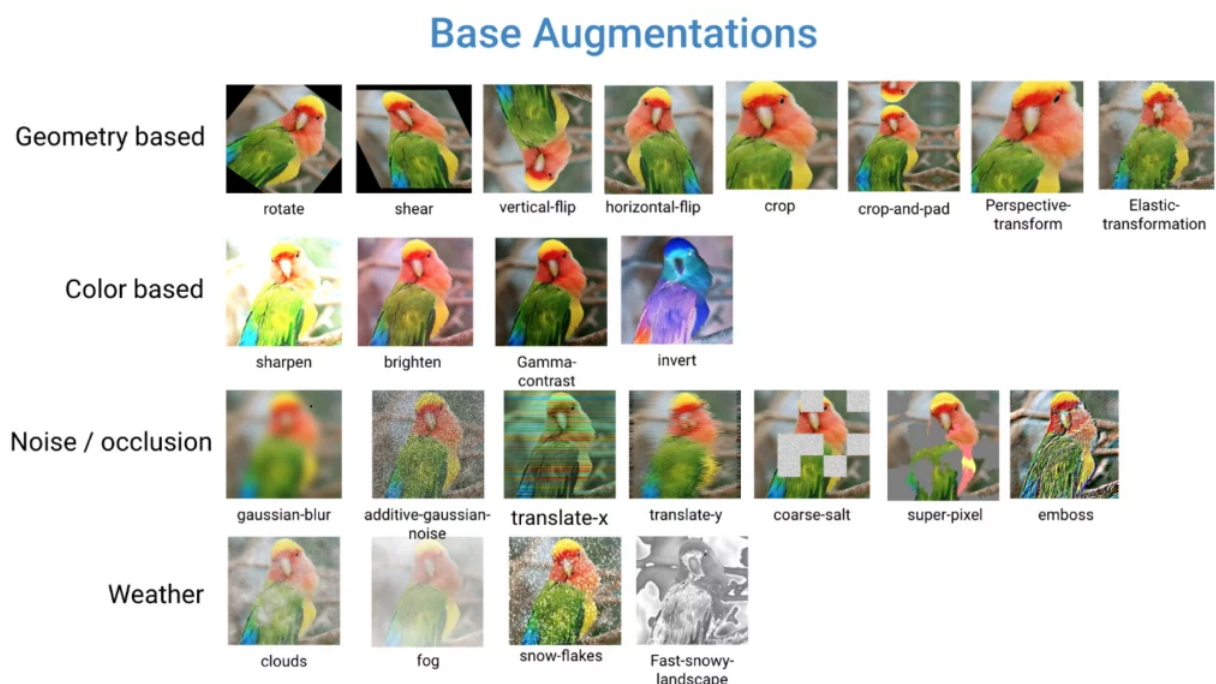


Рисунок 2 – Визуальный обзор методов увеличения данных

Сфера фреймворков для обработки изображений в области машинного обучения обширна и предлагает множество вариантов. Выбор наиболее подходящего фреймворка часто может оказаться сложной задачей из-за обилия вариантов. Здесь я представляю список десяти наиболее часто используемых фреймворков обработки изображений для машинного обучения:

- Pgmagick — библиотека Python, взаимодействующая с программным обеспечением GraphicsMagick, предоставляющая возможности и функции обработки изображений,
- SimpleCV — среда Python, разработанная для задач компьютерного

- зрения, включающая функции обработки и анализа изображений,
- TorchVision — Часть экосистемы PyTorch, TorchVision предоставляет набор утилит для компьютерного зрения, включая функции обработки изображений,
 - OpenCV — чрезвычайно популярная библиотека компьютерного зрения с открытым исходным кодом, которая предлагает широкие возможности обработки изображений и доступна на нескольких языках программирования,
 - Matlab — собственная среда программирования, предоставляющая комплексные инструменты для обработки изображений, включая передовые алгоритмы и рабочие процессы,
 - SciPy — библиотека научных вычислений для Python, включающая различные модули, такие как `scipy.ndimage`, который предлагает функции обработки изображений,
 - scikit-image — библиотека Python, специально ориентированная на задачи обработки изображений, предоставляющая широкий спектр функций и алгоритмов,
 - TensorFlow — широко распространенная система глубокого обучения, которая также включает утилиты для обработки изображений, особенно с помощью модуля TensorFlow Image,
 - Pillow/PIL — библиотека Python Imaging Library (PIL) и ее дружественный форк Pillow предоставляют возможности обработки изображений, включая базовые операции, фильтрацию и преобразование форматов,
 - NVIDIA OpenVINO — набор инструментов с открытым исходным кодом от NVIDIA, который оптимизирует и ускоряет модели глубокого обучения, включая задачи обработки изображений, особенно для развертывания на оборудовании NVIDIA.

В то время как для специализированных задач машинного обучения может потребоваться использование сторонних или собственных фреймворков, в большинстве приложений компьютерного зрения для задач обработки изображений используются фреймворки с открытым исходным кодом.

Каждый из этих фреймворков предлагает стандартные методы обработки и дополнения изображений, зачастую незначительно различаясь в

математической реализации. Несмотря на эти незначительные различия, фундаментальные концепции и функциональные возможности остаются неизменными.

Чтобы проиллюстрировать это, рассмотрим конкретный пример преобразования изображения в градации серого, переворачивания его по горизонтали и обрезки по центру с помощью OpenCV и TensorFlow.

```
1 import cv2 as cv
2
3 img = cv.imread('example.jpeg')
4
5 gray_img = cv.cvtColor(img, cv.COLOR_RGB2GRAY)
6
7 flipped_img = cv.flip(img, 0)
8
9 def crop_img(img, scale=1.0):
10     center_x, center_y = img.shape[1] / 2, img.shape[0] / 2
11     width_scaled, height_scaled = img.shape[1] * scale, img.shape
12     [0] * scale
13     left_x, right_x = center_x - width_scaled / 2, center_x +
14     width_scaled / 2
15     top_y, bottom_y = center_y - height_scaled / 2, center_y +
16     height_scaled / 2
17     img_cropped = img[int(top_y):int(bottom_y), int(left_x):int(
18     right_x)]
19     return img_cropped
20
21 cropped_img = crop_img(img, 0.7)
```

Рисунок 3 – OpenCV

```

1 import tensorflow as tf
2
3 img = tf.io.decode_jpeg(
4     tf.io.read_file('example.jpeg'),
5     channels=3,
6 )
7
8 gray_img = tf.image.rgb_to_grayscale(img)
9
10 flipped_img = tf.image.flip_up_down(img)
11
12 cropped_img = tf.image.central_crop(img, 0.7)

```

Рисунок 4 – TensorFlow

Если посмотреть на результат применения этих преобразований к изображению примера, то можно ожидать, что оба решения дадут одинаковый результат:

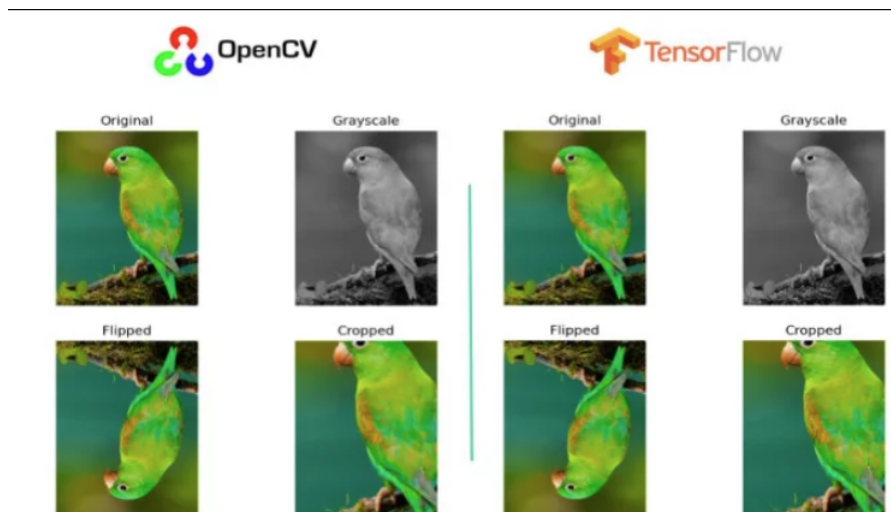


Рисунок 5 – Преобразование изображений с помощью OpenCV (слева) и TensorFlow (справа)

Как вы можете видеть, код для выполнения этих операций с помощью OpenCV и TensorFlow довольно похож и дает эквивалентные результаты. Это показывает, что широко используемые фреймворки, как правило, обеспечивают последовательную реализацию стандартных методов обработки изображений, что позволяет относительно легко переключаться между фреймворками или выбирать тот, который лучше всего соответствует

требованиям проекта.

В целом, этот пример подчеркивает совместимость и взаимозаменяемость популярных фреймворков для обработки изображений, укрепляя идею о том, что эти фреймворки предлагают стандартные методы с сопоставимыми результатами, обеспечивая пользователям гибкость и простоту использования. При изучении использовались ресурсы: [9], [10], [11].

1.5 Нормализация изображений

Нормализация изображений - это важный этап предварительной обработки при подготовке наборов данных для задач искусственного интеллекта (ИИ), особенно в компьютерном зрении. Она включает в себя преобразование нескольких изображений в общее статистическое распределение по размерам и значениям пикселей. Кроме того, нормализация может применяться и к одному изображению для устранения неоднородностей или артефактов.

Пространственная нормализация направлена на выравнивание изображений с точки зрения их пространственного соотношения или положения. Она гарантирует, что соответствующие области интереса (ROIs) на разных изображениях имеют одинаковый размер, ориентацию или положение, что позволяет проводить справедливые сравнения. Этот процесс может включать масштабирование, поворот, перевод или даже нелинейные деформации для правильного выравнивания изображений. Регистрация изображений - это распространенная техника, используемая для достижения пространственной нормализации путем выравнивания изображений по определенным признакам или ориентирам.

Нормализация интенсивности, с другой стороны, направлена на нормализацию значений пикселей на всех изображениях или в пределах одного изображения. Она гарантирует, что общее распределение интенсивности пикселей будет одинаковым, что облегчает сравнение и анализ изображений. Нормализация значений интенсивности позволяет минимизировать вариации яркости, контраста и других характеристик изображения. Это особенно актуально для медицинской визуализации, например, МРТ, где артефакты поля смещения могут вызывать неоднородность интенсивности. Нормализация смещения сканирования,

разновидность нормализации интенсивности, может применяться для устранения таких артефактов и достижения более равномерного распределения интенсивности по изображению.

В целом, нормализация изображения, охватывающая как пространственные аспекты, так и аспекты интенсивности, является важным этапом предварительной обработки в различных задачах компьютерного зрения. Она помогает стандартизировать и выровнять изображения, делая их более удобными для анализа, выделения признаков и последующих алгоритмов машинного обучения.

Распространенные методы нормализации:

- Минимально-максимальное масштабирование позволяет изменить масштаб значений пикселей изображения до определенного диапазона, обычно от 0 до 1. Он предполагает нахождение минимального и максимального значений пикселей в изображении и линейное приведение этих значений к нужному диапазону. Формула для масштабирования min-max выглядит следующим образом:

$$\text{макс.зн.} = (\text{исх.зн.} - \text{мин.зн.}) / (\text{макс.зн.} - \text{мин.зн.}) \quad (1)$$

Min-max масштабирование полезно для обеспечения того, чтобы значения пикселей находились в стандартном диапазоне,

- Нормализация Z-score (также известная как стандартизация) преобразует значения пикселей так, чтобы они имели нулевое среднее значение и единичную дисперсию. Она включает в себя вычитание среднего значения изображения и деление на стандартное отклонение. Формула для нормализации z-score выглядит следующим образом:

$$\text{норм.зн.} = (\text{ис.зн.} - \text{ср.зн.}) / \text{станд.откл} \quad (2)$$

Нормализация Z-score эффективна при работе с изображениями с разными средними и стандартными отклонениями, приводя их к единой шкале,

- Выравнивание гистограммы - это метод, который повышает контрастность изображения путем перераспределения значений пикселей по спектру интенсивности. Она направлена на достижение

более сбалансированной гистограммы, что приводит к улучшению качества изображения. Выравнивание гистограммы может быть особенно полезно для улучшения изображений с низким контрастом,

- Локальная нормализация контраста (например, адаптивная гистограммная эквализация, или АНЕ) - это метод, который повышает контраст в локализованных областях изображения. В отличие от глобальной гистограммной эквализации, она адаптирует процесс эквализации к меньшим регионам, сохраняя тем самым локальные детали. Локальная нормализация контраста может быть эффективна при улучшении изображений с различной освещенностью или контрастом в разных регионах.

1.6 Оцифровка графиков

Выводы по разделу

2 ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Алгоритм работы

В приложения ONMP врач прикрепляет сделанную им ранее фотографию ЭКГ.

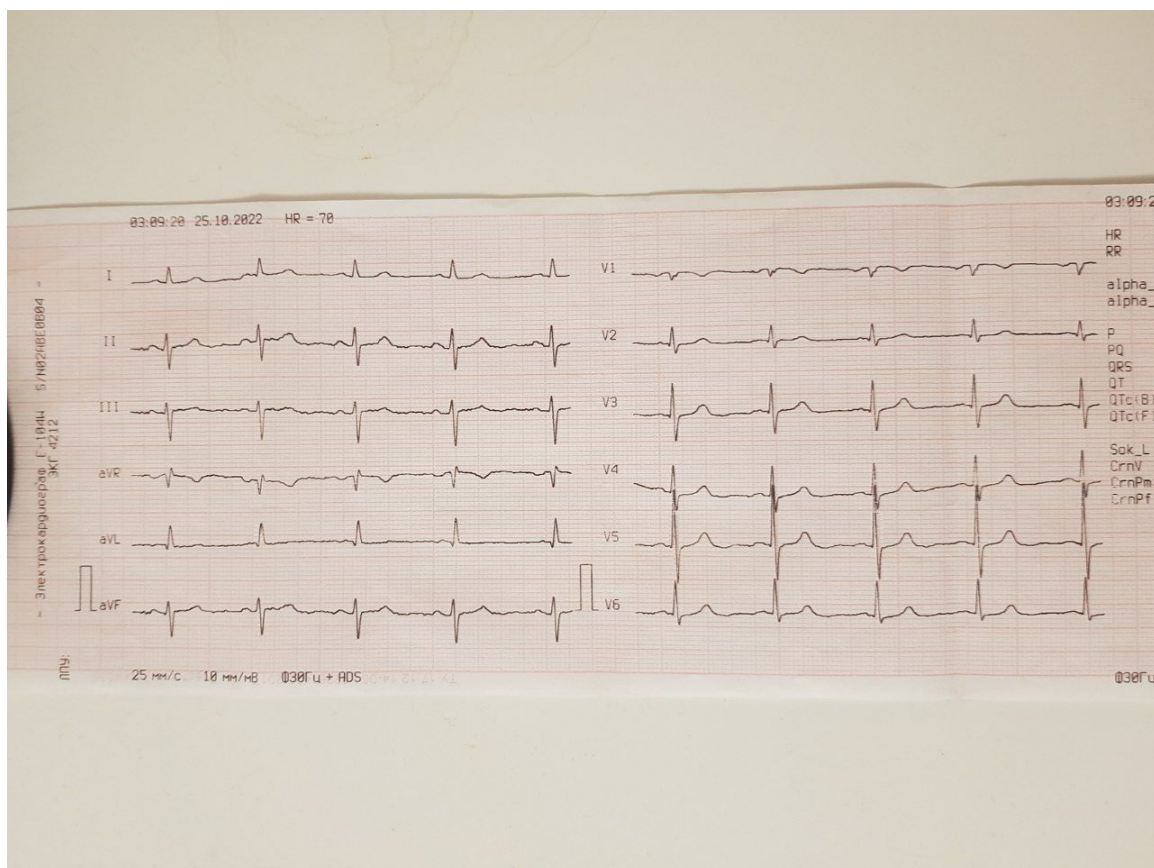


Рисунок 6 – Оригинальная фотография ЭКГ.

Изменение размера и выравнивание изображения, полезно для стандартизации размеров и соотношения сторон графика. Это также дополнительно может помочь снизить вычислительную нагрузку и упростить последующие этапы обработки.

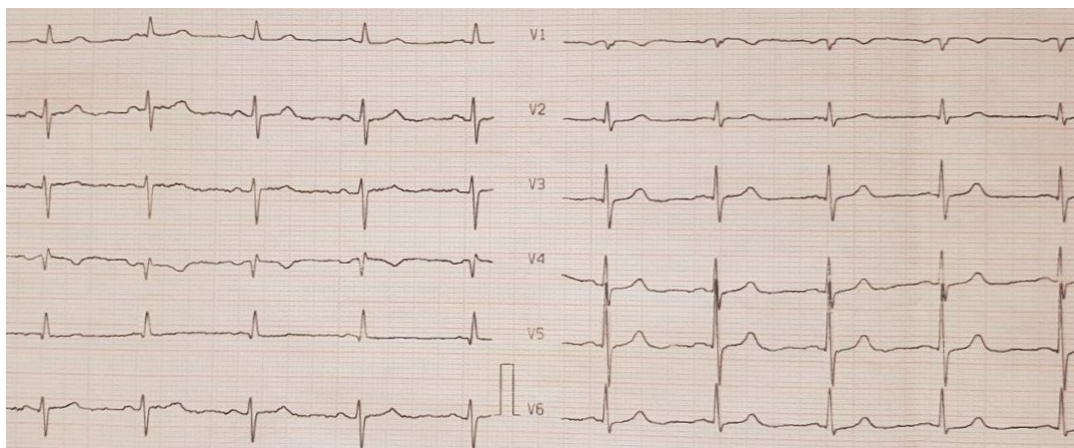


Рисунок 7 – Выравнивание, стандартизация и обрезание.

Если рассматривать каждый график отведений ЭКГ отдельно, это упрощает задачу обнаружения и оцифровки графика. Сосредоточившись на одном графике за один раз, процесс становится более упорядоченным.

Было принято решение отказаться от бинаризации, которая предполагает преобразование графика ЭКГ в двоичный формат изображения. Хотя бинаризация обычно используется для сегментации изображений и повышения контрастности, иногда она может привести к потере важной информации или усложнить определение контуров, особенно в случае с графиками ЭКГ.

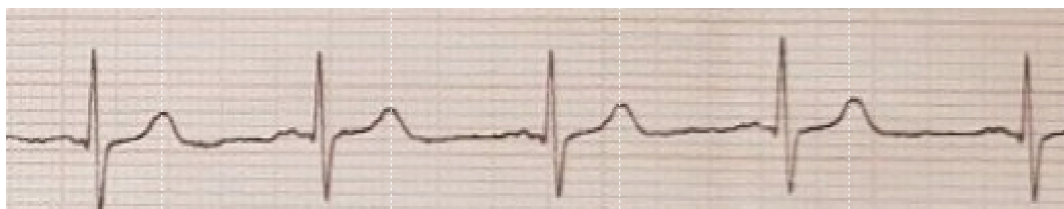


Рисунок 8 – Выделение каждого ответвления ЭКГ.

Преобразуя изображение ЭКГ в градации серого, мы упрощаем последующие задачи обработки и анализа изображения. Изображения в градациях серого содержат только один канал информации, представляющий интенсивность или яркость каждого пикселя.



Рисунок 9 – Градации серого.

Преобразование изображения в его негатив - это распространенная операция обработки изображений, которая заключается в инвертировании значений градаций серого цвета изображения. Эта операция также известна как отрицание изображения или инверсия изображения.

Цель преобразования изображения в негатив - повысить контрастность и выявить детали в форме волны ЭКГ. При инвертировании значений шкалы серого темные области становятся светлее, а светлые - темнее, что приводит к изменению общего тона изображения.



Рисунок 10 – Негатив.

Регулировка контрастности изображения является важнейшим этапом анализа ЭКГ для улучшения видимости графика и удаления нежелательной сетки или фонового шума. Регулировка контрастности включает в себя изменение диапазона значений градаций серого в изображении, тем самым увеличивая различие между различными интенсивностями.

Изменяя контрастность изображения, мы можем подчеркнуть график ЭКГ и одновременно минимизировать влияние сетки или фона. Такая настройка помогает лучше визуализировать и анализировать особенности и характеристики формы волны.



Рисунок 11 – Контрастность.

Выделение контура графика ЭКГ, который в дальнейшем будет оцифрован.

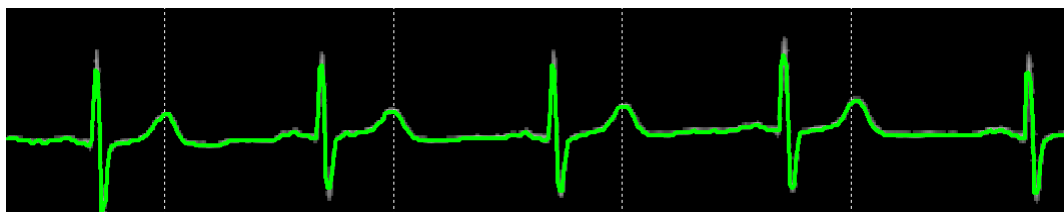


Рисунок 12 – Выделение контура.

Демонстрация самого контура графика ЭКГ.



Рисунок 13 – Контур.

Наложение полученного контура на оригинальную картинку.

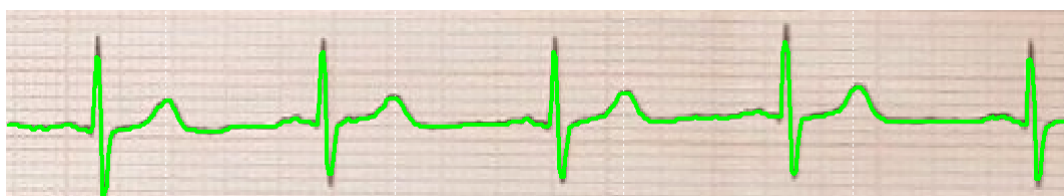


Рисунок 14 – Контур и изначальная картинка.

Затем происходит оцифровка отведения ЭКГ в файл для анализа.

5.309973	0.375
5.3189578	0.375
5.3279425	0.375
5.3369272	0.375
5.3459119	0.375
5.3548967	0.375
5.3638814	0.3625
5.3728661	0.3625
5.3818509	0.3625
5.3908356	0.3625
5.3998203	0.3625
5.408805	0.3625
5.4177898	0.35
5.4267745	0.35
5.4357592	0.3625
5.4447439	0.3625
5.4537287	0.3625
5.4627134	0.35
5.4716981	0.35
5.4806828	0.35
5.4896676	0.3625
5.4986523	0.3625
5.507637	0.3625
5.5166217	0.3625
5.5256065	0.3625
5.5345912	0.3625
5.5435759	0.3625
5.5525606	0.375
5.5615454	0.375
5.5705301	0.375
5.5795148	0.375
5.5884996	0.375
5.5974843	0.3625
5.606469	0.3625
5.6154537	0.35
5.6244385	0.35
5.6334232	0.35
5.6424079	0.35
5.6513926	0.35
5.6603774	0.3375
5.6693621	0.3375
5.6783468	0.3625
5.6873315	0.55
5.6963163	0.7
5.705301	0.6875
5.7142857	0.45

Рисунок 15 – Оцифровка отведения ЭКГ.

Далее каждое отведение сохраняется и анализируется.

Применяются алгоритмы извлечения характеристик ЭКГ, таких как Р-волны, комплексы QRS, Т-волны, ритм, регулярность, ЧЖС, ЭОС.

Далее рассчитываются соответствующие показатели, такие как частота сердечных сокращений, интервал PR, интервал QT и измерения сегмента ST. Сравнивается с нормальными диапазонами.

Вывод результатов: Отображение извлеченных характеристик ЭКГ, показателей и результатов анализа в виде отчета.

```
----- Cardiogram Report -----  
HR: 70  
RR: 0.85  
PR: 0.146  
PQ: 0.149  
ST: 0.317  
Rhythm: sinus rhythm  
Regular: yes  
EOS: отклонение влево  
ST: вверх 2  
Number of abnormalities: 0  
-----
```

Рисунок 16 – Вывод результата

2.2 Тестирование

Точность оцифровки ЭКГ: Оцифровка ЭКГ включает преобразование аналогового сигнала ЭКГ в цифровой формат, что позволяет эффективно хранить, анализировать и передавать сигнал. Точность оцифровки ЭКГ является решающим фактором в обеспечении надежных результатов диагностики. В данном исследовании был проведен комплексный процесс оцифровки. Точность оцифровки оценивалась на основе сравнения оригинальной аналоговой ЭКГ и оцифрованной версии.

Результаты показали, что в процессе оцифровки ЭКГ была достигнута впечатляющая точность 0,97. Такой высокий уровень точности указывает на точность, с которой цифровое представление отражает основные особенности и характеристики оригинальной аналоговой ЭКГ. Точная оцифровка обеспечивает прочную основу для последующего анализа и интерпретации, способствуя повышению точности диагностики.

Точность определения базовой линии ЭКГ: Базовая линия ЭКГ представляет собой электрическую активность сердца, когда оно находится в состоянии покоя. Определение базовой линии является важным этапом предварительной обработки при анализе ЭКГ, поскольку оно устраняет

блуждание базовой линии, облегчая точную оценку других характеристик ЭКГ. В данном исследовании были реализованы различные методы определения базовой линии, которые оценивались на предмет их точности.

Результаты показали, что точность обнаружения базовой линии ЭКГ составляет 0,87. Хотя такой уровень точности указывает на надежное удаление базовой линии, важно учитывать ограничения и проблемы, связанные с обнаружением базовой линии. Такие факторы, как шумовые помехи, различные характеристики базовой линии у разных людей и артефакты, могут повлиять на точность определения базовой линии. Поэтому для повышения точности алгоритмов обнаружения базовой линии необходимы дальнейшие исследования и усовершенствования.

Последствия и будущие направления: Высокая точность, достигнутая при оцифровке ЭКГ (0,97), подчеркивает эффективность использованных методов в точном представлении аналогового сигнала ЭКГ в цифровой форме. Такая точность позволяет врачам и исследователям уверенно анализировать и интерпретировать цифровые данные ЭКГ, что приводит к более точным диагнозам и решениям о лечении.

3 Заключение

В результате обширных исследований и разработок было создано комплексное решение, которое решает ключевые задачи и проблемы рассматриваемого проекта. Это решение представляет собой значительный прогресс в данной области, особенно в сфере анализа и интерпретации электрокардиограмм (ЭКГ).

Основной функцией системы является нормализация фотографий ЭКГ - процесс, включающий преобразование аналоговых сигналов, запечатленных на снимках, в оцифрованные представления. Этот важнейший шаг позволяет проводить дальнейший анализ и манипуляции с данными ЭКГ, что приводит к более глубокому пониманию сердечной деятельности. Система отлично справляется с этой задачей, обеспечивая точное и надежное преобразование фотографий ЭКГ в оцифрованные сигналы.

После оцифровки сигналов ЭКГ система использует передовые алгоритмы для извлечения основных характеристик этих сигналов. Сюда входят точные измерения продолжительности, амплитуды и морфологии, которые являются основополагающими для оценки общего состояния здоровья и функциональности сердца. Получая аналитические показания на основе этих характеристик, система предоставляет медицинским работникам ценную информацию для диагностики и планирования лечения.

Работа системы была тщательно оценена, и она продемонстрировала высокий уровень точности и надежности при обнаружении отклонений в сигналах ЭКГ. Сравнивая извлеченные характеристики с установленными нормальными диапазонами, система эффективно выявляет отклонения от ожидаемых закономерностей, что позволяет обнаружить заболевания, связанные с сердцем, на ранней стадии. Такое раннее обнаружение имеет решающее значение для предотвращения дальнейших осложнений и своевременного вмешательства.

При разработке системы были тщательно учтены требования и потребности пользователей. В результате был разработан удобный интерфейс, позволяющий медицинским работникам легко вводить снимки ЭКГ и получать четкие и ясные аналитические данные. Кроме того, система демонстрирует универсальность, поддерживая широкий спектр форматов изображений ЭКГ, обеспечивая совместимость с различными источниками

данных, часто встречающимися в клинических условиях.

В целом, достижение целей проекта демонстрирует способность системы нормализовать и оцифровывать фотографии ЭКГ, извлекать основные характеристики и предоставлять аналитические показания. Система способна оказать значительную помощь медицинским работникам в диагностике заболеваний, связанных с сердцем, что позволит принимать своевременные и точные решения о лечении. Дальнейшая проверка и тестирование будут способствовать совершенствованию и улучшению системы, что в конечном итоге принесет пользу медицинскому сообществу и улучшит обслуживание пациентов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Безымянный А. С., Хальфин Р. А. Организация отделений неотложной медицинской помощи взрослому населению Москвы // Проблемы стандартизации в здравоохранении. — 2015. — С. 29—32.
2. Москвичева М. Г., Ильичева О. Е., Щепилина Е. С. Организация неотложной медицинской помощи в медицинских организациях Челябинской области // Непрерывное медицинское образование и наука. — 2016. — С. 20—31.
3. Брынза Н. С., Сульдин А. М., Салманов Ю. М. О круглосуточных бригадах службы скорой медицинской помощи // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. — 2017. — С. 295—297.
4. Stages-based ECG signal analysis from traditional signal processing to machine learning approaches: a survey / M. Wasimuddin [и др.] // IEEE Access. — 2020.
5. Зудбинов Ю. И. Азбука ЭКГ и боли в сердце. — 2011.
6. Shapiro L. G., Stockman G. C. Computer vision. — Pearson, 2001.
7. O'Shea K., Nash R. An introduction to convolutional neural networks // arXiv preprint arXiv:1511.08458. — 2015.
8. Forsyth D. A., Ponce J. Computer vision: a modern approach. — prentice hall professional technical reference, 2002.
9. OpenCV / G. Bradski, A. Kaehler [и др.] // Dr. Dobb's journal of software tools. — 2000.
10. Petrou M. M., Petrou C. Image processing: the fundamentals. — John Wiley & Sons, 2010.
11. Suarez G. B. G. O. D. Learning image processing with OpenCV. — 2013.