

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра динамического моделирования и биомедицинской инженерии

**«Распознавание показаний семисегментного индикатора глюкометра
с помощью свёрточных нейронных сетей на Android»**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 2 курса 2281 группы

направления 12.04.04 «Биотехнические системы и технологии»

профиль подготовки «Аппаратные и программные средства биомедицины»

институт физики

Будник Даниил Юрьевич

Научный руководитель:
Зав. кафедрой динамического
моделирования и
биомедицинской инженерии,
д.ф.-м.н., профессор


_____ —
подпись, дата
20.06.2024

А.С. Карavaев

Зав. кафедрой динамического
моделирования и
биомедицинской инженерии,
д.ф.-м.н., профессор


_____ —
подпись, дата
20.06.2024

А.С. Карavaев

Саратов 2024

Введение. Диабет является серьезной глобальной проблемой со здоровьем. Это хроническое заболевание, которое возникает, когда поджелудочная железа не вырабатывает достаточное количество инсулина или, когда организм не может эффективно использовать вырабатываемый им инсулин. Инсулин — это гормон, который помогает глюкозе (сахару) из пищи попадать в клетки для получения энергии.

При диабете высокий уровень глюкозы в крови может повредить кровеносные сосуды и нервы. Это может привести к серьезным осложнениям, таким как болезни сердца, инсульт, заболевания почек, повреждение глаз и ампутация конечностей.

В 2016 году диабет стал причиной 1.6 миллиона смертей, а в 2012 году еще 2,2 миллиона смертей были связаны с высоким уровнем глюкозы в крови. По оценкам ВОЗ, преждевременная смертность от диабета увеличилась на 5% в период с 2000 по 2016 год. Из открытых источников известно, что количество людей, страдающих диабетом, возросло с 108 миллионов в 1980 году до 422 миллионов в 2014 году.

Международная федерация диабета (IDF) сообщает, что в 2021 году число людей, больных диабетом, во всем мире достигло 537 миллионов. IDF также прогнозирует, что к 2030 году это число увеличится до 643 миллионов.

Существует проблема, связанная с частотой проверки уровня сахара в крови, необходимый, чтобы избежать осложнений. У всех людей организм абсолютно разный, и в связи с физиологическими особенностями человека, необходимость в частой проверке уровня сахара в крови для каждого человека индивидуальна. Точного предписания касательно частоты проверки уровня сахара в крови до официального диагноза врача нет. Такой вопрос необходимо обсуждать непосредственно с врачом в индивидуальном порядке, так как существует ряд факторов, способствующих развитию различных заболеваний, включающих и сахарный диабет.

Для измерения уровня сахара в крови вне медицинских учреждений широко используются глюкометры – портативные устройства, позволяющие

проводить измерения в домашних условиях или в любом другом месте.

Результат измерения отображается на дисплее глюкометра в единицах миллимоль на литр «ммоль/л»¹. Эта единица измерения широко используется в клинической практике и отражает количество миллимолей глюкозы, растворенных в одном литре крови.

В контексте развития здравоохранения в России, одной из актуальных проблем является ограниченная возможность использования современных технологий мониторинга здоровья, таких как глюкометры. Многие модели, доступные на рынке, включая популярные глюкометры «Accu-Chek», официально одобренные Министерством Здравоохранения, не обладают функциональностью телекоммуникационного канала для передачи и сбора медицинских данных. Это создает препятствия для эффективного управления состоянием здоровья пациентов, особенно в условиях удаленного мониторинга.

Другая часть рынка предлагает устройства с телекоммуникационным каналом, однако они часто отличаются высокими ценами, делающими их недоступными для широкого круга потребителей. К тому же, многие из этих устройств имеют низкую точность измерений или используют закрытые базы данных, что затрудняет анализ и обработку собранных данных специалистами здравоохранения.

Таким образом, отсутствие универсального решения для надежного и удобного мониторинга уровня глюкозы в крови среди населения России становится серьезной проблемой, требующей решения.

Указанные выше проблемы могут быть решены с помощью современных автоматизированных телемедицинских систем, способных обрабатывать анализ медицинских данных. Эти системы позволяют считывать показания глюкометров у пациентов, аккумулировать информацию в централизованную базу данных на удаленном медицинском сервере. Это обеспечивает эффективный контроль и прогнозирование

¹ «ммоль/л» - миллимоль на литр – внесённая единица измерения молярной объёмной концентрации.

состояния здоровья пациента, а также динамику развития возможных патологий.

Такие системы также способствуют реализации принципов медицины прямого доступа, минимизируя зависимость от непосредственного участия врача. Это не только повышает качество оказания медицинской помощи, но и снижает нагрузку на врачей первичного звена, позволяя им сосредоточиться на более сложных случаях.

Цель работы заключается в том, чтобы разработать систему распознавания семисегментного индикатора с глюкометра с помощью технологий свёрточных нейронных сетей. Необходимо на основе фотографирований экрана глюкометра, полученной с помощью смартфона, автоматически распознавать показания измерения концентрации уровня глюкозы в крови, а также отправлять полученные показания на удаленный сервер для интеграции в разработанную коллегами из НИИ Кардиологии Саратовского Государственного Медицинского Университета имени В. И. Разумовского информационно аналитическую систему ИС-Кардио.

Для достижения цели в ходе работы было поставлено несколько задач, которые требуют:

1. Изучить, как работают свёрточные нейронные сети для её использования и внедрения в систему.
2. Подготовить экспериментальную выборку данных в виде фотографий сегментных индикаторов глюкометра.
3. На основе подготовленных фотографий сделать базу данных в виде датасета для обучения свёрточной нейронной сети.
4. Реализовать архитектуру свёрточной нейронной сети для обучения и дальнейшего распознавания показаний глюкометра
5. Внедрить свёрточную нейронную сеть в программное обеспечение для последующего использование на Android-смартфоне.
6. Провести статистический анализ результатов распознавания при помощи, полученной свёрточной сетью.

Структура выпускной квалификационной работы: Введение, 9 глав, заключение, список используемых источников, приложение А, приложение Б, приложение В. Работа изложена в 54 страницах, включает в себя 1 таблицу, 1 формулу и 25 рисунков. В списке использованных источников содержится 20 наименований.

Основное содержание работы. В первой главе «Сахарный диабет и его влияние на организм» подробно описываются характеристики диабета и его негативное воздействие на человеческий организм. Уже известно, что высокий уровень глюкозы в крови представляет собой серьезную угрозу для здоровья, поскольку может вызвать повреждение глаз, почек, нервной системы и сердца. Важным аспектом является возможность своевременного обнаружения диабета 1-го или 2-го типа с использованием современных диагностических методов. После подтверждения наличия одного из этих типов диабета, регулярный мониторинг уровня глюкозы в крови становится критически важным. В таких условиях глюкометры играют ключевую роль в поддержании контроля над заболеванием.

Во второй главе «Методы для измерения концентрации глюкозы в крови» проводится анализ доступных на рынке устройств для измерения глюкозы в крови. Глюкометры классифицируются на два основных типа: инвазивные и неинвазивные устройства. Инвазивные глюкометры требуют использования дополнительных инструментов для прокола кожи и проведения взятия крови. Неинвазивные глюкометры, напротив, позволяют осуществлять измерение без прямого контакта с кожей, что делает их более удобными для ежедневного использования.

В третьей главе «Глюкометр “Accu-Chek Active”» рассматривается модель глюкометра, рекомендуемая Министерством здравоохранения, — это Accu-Chek Active. Представлены ключевые характеристики этого устройства, включая комплект, необходимый для его использования, который включает ручку-прокалыватель Accu-Chek Softclix и специальные тест-полоски. Более детально освещаются основные этапы использования и особенности работы

данного глюкометра, что позволяет пользователям максимально эффективно применять этот прибор для контроля уровня глюкозы в крови.

В четвёртой главе «Телемедицинский комплекс и его структура» обсуждается возможность использования смартфона как средства для создания телемедицинского канала, который будет связывать глюкометр с удаленным медицинским сервером. Этот сервер был разработан специалистами из НИИ Кардиологии СГМУ для обработки и сбора информации о состоянии пациентов. Такое решение позволяет обеспечить непрерывный мониторинг состояния здоровья пациентов, используя передовые технологии связи. Структура такого комплекса демонстрируется на рисунке 1, где наглядно отображается взаимодействие всех компонентов системы.

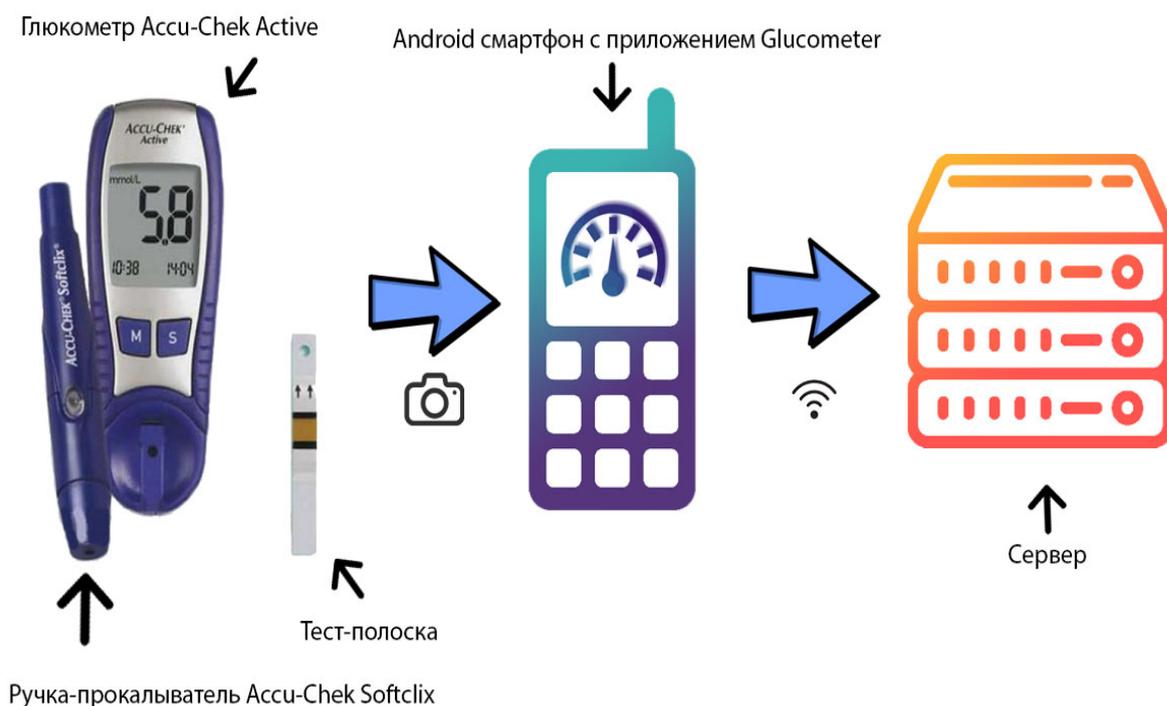


Рисунок 1 - Блок схема телемедицинского комплекса

В пятой главе «Методы распознавания текстовых объектов с изображения» рассматриваются два подхода к распознаванию текстовых объектов на изображениях. Первый метод основан на корреляционном

анализе, который предполагает сравнение полученного экспериментально значения с заранее определенными эталонными данными. Этот процесс иллюстрирован на рисунке 2. Второй метод использует нейронные сети, которые способны обучаться на больших объемах данных и обеспечивают высокую точность распознавания благодаря своей способности к автоматическому выделению и интерпретации сложных шаблонов в данных.

В шестой главе «Свёртка» рассказывается про математическую операцию свёртки, которая Она используется в различных областях, таких как обработка сигналов, теория вероятностей, дифференциальные уравнения и даже в теории групп. В свёрточных нейронных сетях в основе используется операция свёртки, но интерпретируется не в виде временного ряда, а в виде блоков пикселей на изображении.

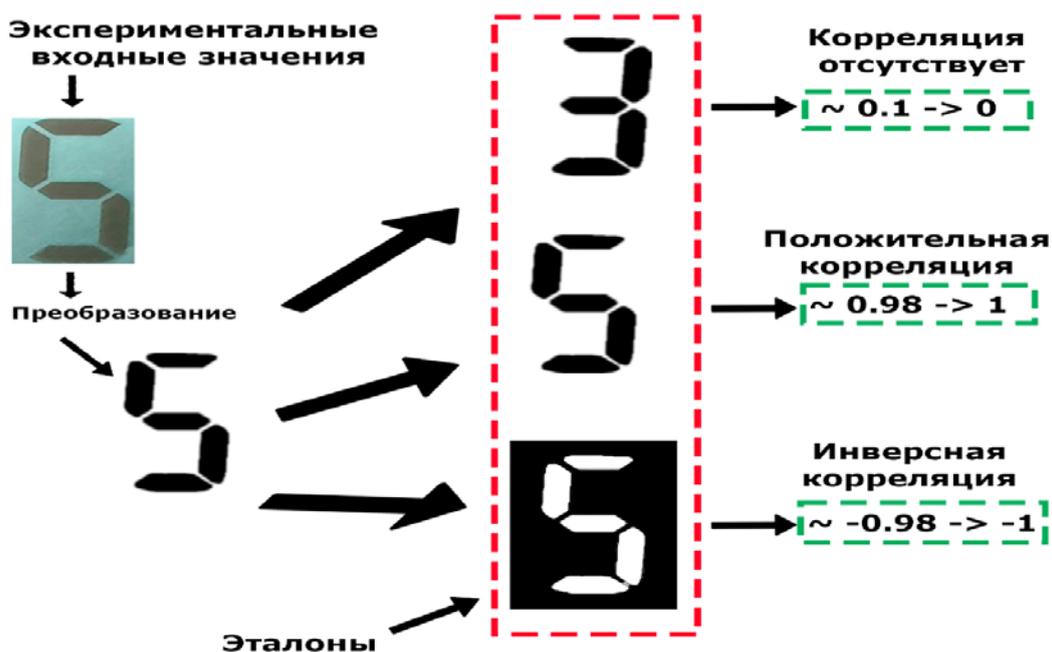


Рисунок 2 - Схема корреляционного анализа изображения

В седьмой главе «Свёрточные нейронные сети» рассматривается функционирование свёрточных нейронных сетей. Обсуждаются архитектурные элементы таких сетей, включая слои и процессы свёртки и субдискретизации. Свёртка позволяет сети изучать локальные зависимости в

данных, что особенно актуально при работе с изображениями. Субдискретизация, в свою очередь, используется для уменьшения размерности данных, что упрощает обработку и ускоряет вычисления. Структура свёрточной нейронной сети представлена на рисунке 3, где наглядно показаны все ключевые компоненты и процессы, происходящие внутри сети

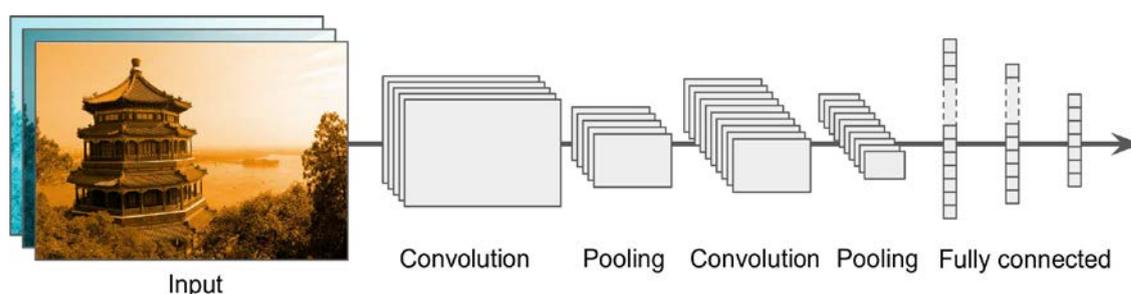


Рисунок 3 - Архитектура CNN

В восьмой главе «Разработка собственной модели на основе свёрточной нейронной сети» идёт описание разработанных моделей на основе свёрточной нейронной сети. Модель «Binary Model AI» для определения наличия цифры для распознавания и модель «Digital Model» для распознавания самой цифры.

В ходе статистического исследования точности распознавания, в общем было выявлено, что вероятность распознавания свёрточной нейронной сети составляет 0.92, что является преимущественно больше, по сравнению с предыдущими методами по распознаванию показаний.

Фрагмент сравнения детекций показаний глюкометра на выборке с заведомо плохими фотографиями для распознавания показан в таблице 1.

В девятой главе «Программное обеспечение на Android-смартфоне» рассказывается о приложении, которое получает доступ к камере пользователя и выводит изображение на экран с наложением специального окна. Программа считывает всё, что попадает в прямоугольную область экрана и пытается распознавать показания в реальном времени. Рабочие окна

программы показаны на рисунке 4

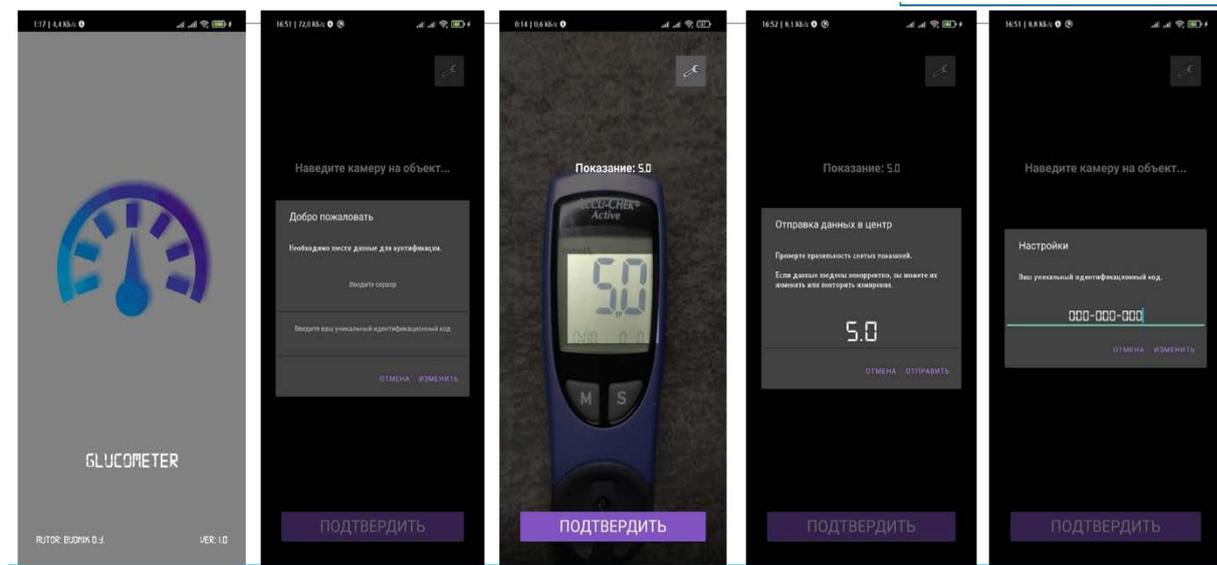


Рисунок 4 – Рабочие окно программы для Android-смартфона

Таблица 1 - Вероятность корректной детекции в различных методах

Значения показаний глюкометра	Вероятность корректной детекции		
	Использование готовой ИНС Google из пакета библиотеки ML-Kit (2022г.)	Использование метода корреляционного анализа при помощи OpenCV	Использование свёрточной нейронной сети CNN при помощи TensorFlow
12.2	0.11	0.30	1.00
13.8	0.23	0.44	1.00
21.4	0.44	0.29	0.92
4.1	0.61	0.51	1.00
4.8	0.65	0.34	0.91
5.0	0.64	0.57	0.72
6.5	0.54	0.31	0.95
6.9	0.49	0.48	1.00
7.0	0.12	0.31	0.85
7.3	0.09	0.59	0.85

Заключение. Таким образом была разработана программа на Python с использованием библиотеки TensorFlow для распознавания семисегментных индикаторов глюкометров Accu-Chek с использованием свёрточной нейронной сети. В программе было реализовано две CNN, «Binary Model AI» для определения наличия цифры и «Digital Model» для её классификации.

Разработанные модели были внедрены в программное обеспечение для Android-смарт для дальнейшего его использования в пылевых условиях.

Распознавание семисегментных индикаторов происходило с экрана глюкометра «Accu Chek Active», который имел нестандартный шрифт и глянцевый экран, который был подвержен появлению бликов, тем самым создавая артефакты, затрудняющие распознавание.

Данная модель свёрточной нейронной сети была внедрена в программный комплекс для Android смартфонов для дальнейшего использования.

В ходе работы были решены следующие задачи:

1. Подробно изучена работа свёрточной нейронной сети в области распознавания объектов с помощью компьютерного зрения.

2. Подготовлена база данных фотографий в виде датасета, общим объёмом в 4100 фотографий, которые были разделены на группы, в виде:

- 100 фотографий, 10 различных показаний по 10 шт.
- 1000 фотографий, 10 различных показаний по 100 шт.
- 3000 фотографий, 100 различных показаний по 30 шт.

3. Разработаны две модели CNN для распознавания семисегментных индикаторов в диапазоне от 3.0 до 30.0. Модель «Binary Model AI» для определения наличия цифры для распознавания и модель «Digital Model» для распознавания самой цифры.

4. На основе разработанных двух моделей было разработано специальное программное обеспечение для Android-смартфона с возможность распознавания показаний глюкометра в реальном времени.

5. При статистическом анализе методов распознавания установили,

что свёрточные нейронные сети справляются с вероятностью 0.92, что является заметно лучше, в отличии от методов с помощью корреляционного анализа, где точность распознавания составляла 0.64.

Стоит отметить, что вероятность 0.92 получена при анализе тех фотографий, которые имеют явные артефакты и тем самым усложняют распознавание показаний глюкометра. Во всех остальных случаях, с использованием подготовленных фотографий (моделирующие типичного пользователя, аккуратно komponующего изображение при фотографировании), нейросеть демонстрировала безошибочную детекцию.

Берник Д. Ю. *Берник*

20.06.2024