

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

УДК 004.396

ПИНТУСОВ
Дмитрий Николаевич

**ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ИДЕНТИФИКАЦИИ
РУКОПИСНОЙ ПОДПИСИ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание степени
магистра информатики и вычислительной техники

по специальности 1-40 81 01 – Информатика и технологии разработки
программного обеспечения

Минск 2020

Работа выполнена на кафедре информатики учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель: **ТИХОНЕНКО Татьяна Владимировна**,
кандидат физико-математических наук, доцент

Рецензент: **ЦАРИК Сергей Всеволодович**,
кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий учреждения образования «Белорусский государственный университет»

Защита диссертации состоится «26» июня 2020 г. года в 15⁰⁰ часов на заседании Государственной экзаменационной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, Минск, ул. Гикало, 9, копр. 4, ауд. 111, тел. 293-85-91, e-mail: inform@bsuir.by

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

ВВЕДЕНИЕ

Распознавание образов является одной из самых изученных задач в таких областях, как цифровая обработка изображений, компьютерное зрение, биометрия, создание интеллектуальных систем безопасности, контроля доступа и т.п. Тем не менее, в области распознавания образов продолжают представлять большой научный и практический интерес такие задачи как распознавание лиц, жестов, текстов, отпечатков пальцев, печатных и рукописных текстов, а также подписей.

Широко исследуемой проблемой является распознавание рукописного текста. На данный момент достигнутая точность ниже, чем для рукописного «печатного» текста. Рукописные подписи тоже могут рассматриваться как рукописные слова, однако чаще всего они больше соответствуют рисункам, поскольку подписант старается сделать свою подпись уникальной и использует не только символы имени и фамилии, но и дополнительные графические элементы.

При идентификации физической подписи визуально достаточно сложно отличить настоящую подпись от подделки. Даже две подписи одного и того же человека могут существенно различаться. Без проведения экспертизы вы не можете быть уверены, что полученный документ действительно подписан конкретным человеком, особенно если подпись документа выполнялась без свидетелей. Для определения личности или ее идентификация по подписи требует значительных усилий и может потребовать профессиональной экспертизы для сравнение оригинала подписи с предоставленным вариантом.

В современной мире информатизации аналогом физической подписи является цифровая рукописная подпись. При цифровом подходе можно выделить ряд уникальных характеристик, присущих физической подписи, которые невозможно уловить без технических средств. Полученные цифровым путем данные позволяют не только юридически закрепить операцию, но также способствуют решению проблемы определения аутентичности подписи в режиме реального времени.

Может показаться, что подделать цифровую подпись достаточно просто, тем не менее, практически невозможно повторить скорость написания и оказываемое при этом давление. Поэтому системы распознавания подписи, использующие самые передовые технологии, становятся идеальной заменой для паролей в операциях, например, с корпоративными банковскими счетами. Однако, как и у всех других методов идентификации, и здесь имеются свои недостатки. Один из главных недостатков заключается в том, что в зависимости от обстоятельств каждый из нас может подписываться по-разному. Чтобы система была практичной, важно уметь отличать, например, медленно сделанную подпись в результате какой-то травмы и в результате попытки подделать ее.

Экспертизу цифровой рукописной подписи можно проводить практически мгновенно, используя программный подход. Цифровой планшет регистрирует не только очертания символов подписи, но и другие параметры,

которые анализируются в процессе экспертизы физической подписи – положение конца ручки (стилуса) в определенные моменты времени, угол наклона ручки и оказываемое на планшет давление. Данные, получаемые с помощью графических планшетов, отражают динамику мускульных движений руки, и, следовательно, являются биометрической характеристикой конкретного человека. В случае с физической подписью перечисленные характеристики анализируют эксперты. Анализ цифровой рукописной подписи выполняется программно по перечисленным характеристикам с использованием техник распознавания образов, таких как алгоритм динамической трансформации временной шкалы, скрытые марковские модели, векторное квантование, DTW-алгоритмы, вариации архитектур нейронных сетей.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

В настоящее время подпись является доказательством подлинности личности человека, в том числе в биометрических системах контроля и управления доступом. Основным преимуществом использования распознавания подписи как метода верификации является тот факт, что большинство современных портативных компьютеров и электронных носимых устройств уже позволяют использовать рукописный ввод данных, поэтому нет никакой необходимости создания принципиально новых устройств биометрического сбора информации. В то же время существует очень мало систем для идентификации, которые могут обеспечить достаточно высокую точность распознавания, сохраняя приемлемый уровень эффективности. Магистерская диссертация выполнена на актуальную на сегодняшний день тему, поскольку цифровизация экономики и страны в целом должна проходить на основе современных систем, способных к решению проблем определения аутентичности подписи в режиме реального времени.

Степень разработанности проблемы

Исследование в области распознавания рукописного текста, а также подписей, осуществлялось на основе построения теоретических моделей с использованием работ белорусских и российских ученых: А.А. Абраменко, Е.Е. Андросова, Э.С. Анисимова, В.А. Головки, Е.Ю. Костюченко, Д.В. Колядин, А.В. Созыкин, Н.Н. Куцуль, А.Ю. Шелестова, а так же зарубежных авторов: В.Ж. Амрута, I. Bhattacharyaa, M. Faundez-Zanuy, A. Graves, M. Liwicki, F. Hao, C.W. Chan, M.M. Fahm Maged и др.

Одним из недостатков исследований, представленных в современной технической литературе, является неполное рассмотрение особенностей и условий для моделирования идентификационной системы распознавания рукописной подписи с использованием нейронных сетей.

Предложенное исследование направлено на устранение этого недостатка на основе модификации сверточной нейронной сети и предложенной архитектуры мобильного приложения.

Цель и задачи исследования

Целью диссертационной работы является разработка модели нейронной сети и мобильного приложения в качестве информационной системы идентификации рукописной подписи, основанной на обработке в онлайн режиме изображений цифровой рукописной подписи с последующей верификацией на основе предварительно обученной нейронной сети.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Рассмотреть понятие рукописной подписи, а также процесс ее идентификации и верификации.

2. Рассмотреть существующие методы и алгоритмы, используемые для распознавания рукописного текста и подписей.

3. Разработать архитектуру информационной системы по идентификации рукописной подписи, основанную на применении нейронной сети.

4. Разработать алгоритм предварительной обработки изображений, а также архитектуру и модель нейронной сети для распознавания изображений рукописной подписи.

5. Реализовать модель сверточной нейронной сети и обучить ее на общедоступных наборах данных подписей.

6. Реализовать мобильное приложение, включающее функцию верификации цифровой рукописной подписи с использованием предварительно обученной нейронной сети.

7. Провести экспериментальные исследования разработанной системы.

Объектом исследования являются информационные системы идентификации рукописной подписи.

Предметом исследования является математическое и программное обеспечение информационных систем, методы и алгоритмы, используемые для решения задач идентификации рукописной подписи.

Область исследования

Содержание диссертации соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) ОСВО 1-40 80 04-2019 специальности 1-40 80 04 «Информатика и технологии программирования».

Теоретическая и методологическая основа исследования

В основу диссертации легли работы белорусских и зарубежных ученых в области распознавания рукописного текста, подписей, а также анализ технических нормативных правовых актов по рассматриваемой тематике.

Информационная база исследования сформирована на основе литературы, открытой информации, технических нормативно-правовых актов,

сведений из электронных ресурсов, а также материалов научных конференций и семинаров.

Научная новизна

Научная новизна и значимость полученных результатов работы заключается в разработке модели нейронной сети и мобильного приложения в качестве информационной системы идентификации рукописной подписи, основанной на обработке в онлайн режиме изображений цифровой рукописной подписи с последующей верификацией на основе предварительно обученной нейронной сети.

Теоретическая значимость работы заключается в детальном анализе методов распознавания рукописных подписей, а также моделировании архитектуры сверточной нейронной сети.

Практическая значимость диссертации состоит в разработанной информационной системе по распознаванию рукописных подписей, которая может быть интегрирована в существующие приложения организаций и предприятий.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Архитектура мобильного приложения в качестве информационной системы распознавания рукописной подписи. Функционирование системы в режиме реального времени обеспечивается за счет специальной подсистемы по распознаванию рукописных подписей, основанной на предобученной модели сверточной нейронной сети, а также включающей процесс предварительной обработки входных изображений подписи.

2. Архитектура сверточной нейронной сети для решения задач по распознаванию рукописных подписей. Предложенная модель довольно проста с точки зрения количества основных слоев (Conv и Pool) и, в отличие от других современных архитектур сверточных нейронных сетей, имеет меньшее количество весовых параметров, подлежащих оптимизации. В связи с малым количеством слоев и параметров, время, затрачиваемое на обучение и тестирование предлагаемого подхода, будет значительно ниже.

3. Алгоритм предварительной обработки изображений подписей, с последующим увеличением набора данных (data augmentation) для улучшения точности распознавания нейронной сетью.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Результаты исследований, вошедшие в диссертацию, докладывались и обсуждались на международной научной конференции «Информационные технологии и системы 2019 (ИТС 2019)» (БГУИР, Минск, 2019).

Реализованная архитектура нейронной сети, а также алгоритм предварительной обработки поступающих в систему изображений были внедрены в производственный процесс ИООО «ЭПАМ СИСТЕМЗ».

Публикации

Изложенные в диссертации основные положения и выводы опубликованы в качестве 1 печатной работы в сборнике материалов международной конференции.

Структура и объем работы

Магистерское исследование состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, списка использованных источников, списка публикаций автора и приложений.

В первой главе диссертации рассматривается понятие подписи, ее виды и регулирование в рамках действующего законодательства Республики Беларусь, также дано определение идентификации и верификации подписи.

Вторая глава посвящена методам и алгоритмам идентификации изображений подписи, проведен сравнительный анализ подходов.

В третьей главе предложена архитектура мобильного приложения и нейронной сети, рассмотрено программное обеспечение для реализации информационной системы, а также предложена практическая реализация мобильного приложения и сверточной нейронной сети.

В четвертой главе описаны результаты тестирования созданной системы верификации подписи.

В приложении представлены публикации автора и акт внедрения.

Общий объем работы составляет 84 страницы, из которых основного текста – 68 страниц, 32 рисунка на 30 страницах, 3 таблицы на 3 страницах, список использованных источников из 36 наименований на 4 страницах и 4 приложения на 6 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрено современное состояние проблемы распознавания рукописных подписей, указаны основные направления исследований, проводимых по данной тематике, а также описано обоснование актуальности темы.

В общей характеристике работы показана актуальность проводимых исследований, степень разработанности проблемы, сформулированы цель и задачи диссертации, обозначена область исследований, научная (теоретическая и практическая) значимость исследований, а также апробация работы.

В первой главе приведен обзор современного состояния проблемы распознавания рукописного текста и подписей, рассмотрены виды подписей и их правовое регулирование в рамках действующего законодательства Республики Беларусь, а также рассмотрены понятия идентификации и верификации рукописных подписей.

Из анализа следует, что проблема распознавания рукописного текста и подписей заключается в отсутствии точных алгоритмов и методик моделирования архитектур информационной системы и нейронной сети. Ее

решение позволит оптимизировать процесс аутентификации подписи личности, который на сегодняшний день являются необходимым компонентом в биометрических системах контроля и управления доступом, а также сократить материальные затраты на идентификацию подлинности подписи, что обуславливает актуальность проводимых исследований.

Проанализированы особенности и правовое регулирование рукописных подписей, а также электронной цифровой подписи (ЭЦП) и цифровой рукописной подписи (ЦРП). Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что цифровой способ подписания документов будет способствовать развитию финансовых услуг, предоставляемых банками посредством цифровых технологий, а также сокращению бумажного документооборота. Экспертизу ЦРП можно проводить практически мгновенно, используя программный подход. Однако существует очень мало систем для идентификации (распознавания), которые могут обеспечить достаточно высокую точность распознавания подписей, сохраняя приемлемый уровень эффективности.

Во второй главе был рассмотрен ряд классических алгоритмов для распознавания рукописной подписи, а также нейросетевой подход.

Алгоритм динамического трансформирования времени (**DTW алгоритм**) успешно используется во многих областях, однако все же может выдавать неправильные результаты. Алгоритм может попытаться объяснить непостоянство оси y с помощью трансформации оси x . Это может привести к выравниванию, при котором одной точке первой последовательности ставится в соответствие большая подгруппа точек второй последовательности.

Другая проблема заключается в том, что алгоритм может не найти очевидное выравнивание двух рядов вследствие того, что особая точка (пик, впадина, плато, точка перегиба) одного ряда расположена немного выше или ниже соответствующей ей особой точки другого ряда. К недостаткам метода DTW также относятся трудоемкость вычислений и приведение даже поддельной подписи к эталонному виду. Чтобы устранить эти недостатки был предложен метод сравнения подписей на основе поиска соответствия экстремальных точек (extreme points warping, EPW).

Алгоритм аппроксимации кривыми Безье: благодаря простоте задания и манипуляции, кривые Безье нашли широкое применение в компьютерной графике для моделирования гладких линий. Кривая целиком лежит в выпуклой оболочке своих опорных точек. Это свойство кривых Безье с одной стороны значительно облегчает задачу нахождения точек пересечения кривых (если не пересекаются выпуклые оболочки опорных точек, то не пересекаются и сами кривые), а с другой стороны позволяет осуществлять интуитивно понятное управление параметрами кривой в графическом интерфейсе с помощью ее опорных точек. Кроме того, аффинные преобразования кривой (перенос, масштабирование, вращение и др.) также могут быть осуществлены путем применения соответствующих трансформаций к опорным точкам. Для построения сложных по форме линий отдельные кривые Безье могут быть последовательно соединены друг с другом в сплайн Безье. Наибольшее

значение имеют кривые Безье второй и третьей степеней (квадратичные и кубические). Однако кривые высших степеней при обработке требуют большего объема вычислений и для практических целей используются реже.

Алгоритм на основе вычисления матрицы расстояния: результатом действия алгоритма является матрица расстояний, инвариантная относительно сдвига, поворота и изменения масштаба. Иными словами, если взять образец подписи, затем растянуть, повернуть и сдвинуть подпись, то матрица расстояний будет такая же как и у исходной подписи. Основным ограничением данного алгоритма является необходимость соответствия размеров матрицы расстояний, что невозможно относительно верификации рукописной подписи.

Алгоритм сопоставления локальных экстремумов: в той или иной степени многие подходы к верификации рукописной подписи основываются на процедуре нахождения характерных или экстремальных точек. Применение сенсорных панелей и графических планшетов позволяет автоматизировать данную процедуру. Как правило, выбор падает на точки со значением кривизны больше некоторого порогового значения. Вычисление кривизны по формуле дифференциальной геометрии требует существования второй производной по времени, что накладывает ограничение на гладкость исследуемой траектории. Описанные методы нахождения экстремальных точек не всегда оптимальны, а применительно к вопросам верификации подписи и малоэффективны. Часто вертикальные и горизонтальные экстремумы находятся вблизи от экстремальных точек по кривизне, что делает необходимым привлечение процедуры фильтрации. В тоже время, задание неправильного порогового значения для данной конкретной подписи может привести к пропуску важных точек, не обладающих большой кривизной.

Использованием нейронных сетей: рукописные подписи имеют достаточно сложную структуру и мелкую детализацию, все это представляет большую сложность для решения данной задачи математическими методами и требует больших вычислительных затрат. Одним из основных методов верификации является подход с использованием нейронных сетей. Искусственные нейронные сети могут выполнять роль классификатора, хорошо моделирующего сложную функцию распределения рукописных подписей на изображениях, тем самым увеличивая точность распознавания по сравнению с остальными методами.

Однако слишком большое количество варьируемых параметров требует нового расчета для задачи и определения нужных настроек. Так, к варьируемым параметрам можно отнести: количество слоев, размерность ядра свертки для каждого из слоев, количество ядер для каждого из слоев, шаг сдвига ядра при обработке слоя, необходимость слоев субдискретизации, степень уменьшения ими размерности, функция по уменьшению размерности (выбор максимума, среднего и т.п.), передаточная функция нейронов, наличие и параметры выходной полносвязной нейросети на выходе сверточной. Все эти параметры существенно влияют на результат, но выбираются исследователями эмпирически. Существует несколько выверенных и прекрасно работающих конфигураций сетей, но не хватает рекомендаций, по

которым нужно строить сеть для новой задачи.

Исходя из проведенного анализа, сверточная нейронная сеть является одним из лучших алгоритмов по распознаванию и классификации изображений. По сравнению с полносвязной нейронной сетью (типа перцептрона) – гораздо меньшее количество настраиваемых весов, так как одно ядро весов используется целиком для всего изображения, вместо того, чтобы делать для каждого пикселя входного изображения свои персональные весовые коэффициенты. Это подталкивает нейросеть при обучении к обобщению демонстрируемой информации, а не попиксельному запоминанию каждой показанной картинке в мириадах весовых коэффициентов, как это делает перцептрон. Удобное распараллеливание вычислений, а следовательно, возможность реализации алгоритмов работы и обучения сети на графических процессорах.

В третьей главе в качестве примера для практического применения представлена система распознавания рукописных подписей. Особенностью реализации приложения является организация платежной системы с использованием цифровой рукописной подписи как средства гаранта, верификации при совершении платежей и управлении счетом в целом. Программное средство реализовано в виде мобильного приложения, работающего с локальной базой данных (SQLite) для обеспечения сохранения пользовательских данных.

Приложение работает под операционной системой Android. Исходя из того, что приложение разработано с помощью Android, используется XML и связывание данных при создании интерфейса пользователя. В этом случае применялся паттерн MVVM. Чтобы задокументировать и визуализировать структуру программы, были составлены диаграммы на языке UML.

Диаграмма вариантов использования представлена на рисунке 1.

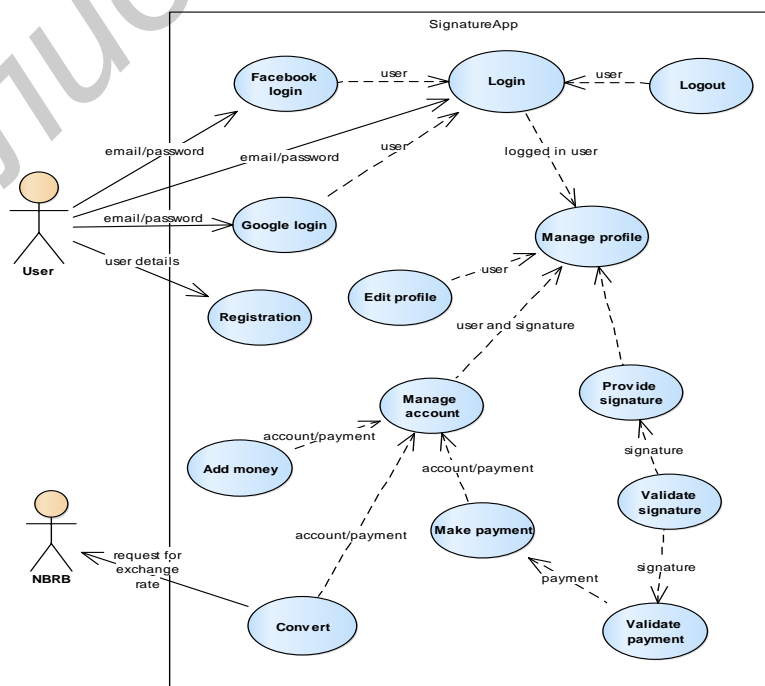


Рисунок 3.1 – Диаграмма вариантов использования

Основной частью проектирования базы данных является построение концептуальной модели данных. Данная модель строится на основании информации, полученной в результате анализа предметной области (рисунок 2) и состоит из сущностей User (Пользователь), Account (Счет), Payment (Платеж).

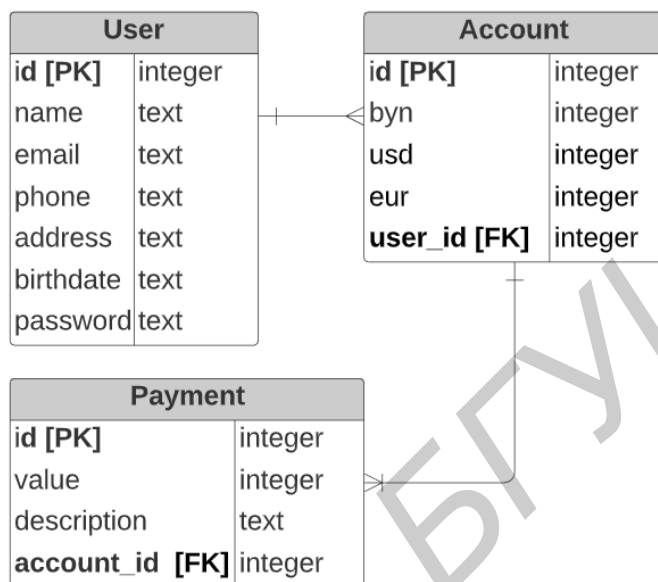


Рисунок 2 – Диаграмма «сущность-связь»

После того, как анализ данных и разработка моделей программы согласно предъявленным требованиям уже произведены, следующим этапом является разработка алгоритма работы приложения (рисунок 3).

Общий алгоритм работы программы состоит из следующих шагов:

- первичная инициализация форм данными из БД;
- создание и редактирование объектов сущностей на усмотрение пользователя. Сюда входит создание объектов данных о пользователе, счете, платежах;
- если мы находимся на странице пользователя, то можем выбрать вариант редактирования, загрузки фото, предоставления подписи и управления счетом;
- если мы находимся на странице управления счетом, то имеется возможность добавления суммы, предоставления платежа (с последующей валидацией), конвертации валют;
- просмотр платежей пользователя.

Принципиально программа будет представлять собой интерфейс для ввода и просмотра данных, предоставления рукописной подписи, просмотра списка данных. В любой момент времени пользователь может обратиться к любой сущности на свое усмотрение, чтобы отобразить ее данные или создать новую. Существуют только два ограничения: текущее состояние записи при работе с дополнительными функциями и заранее установленный при разработке порядок создания сущностей. Наряду с созданием новых объектов есть возможность просмотра ранее созданных.

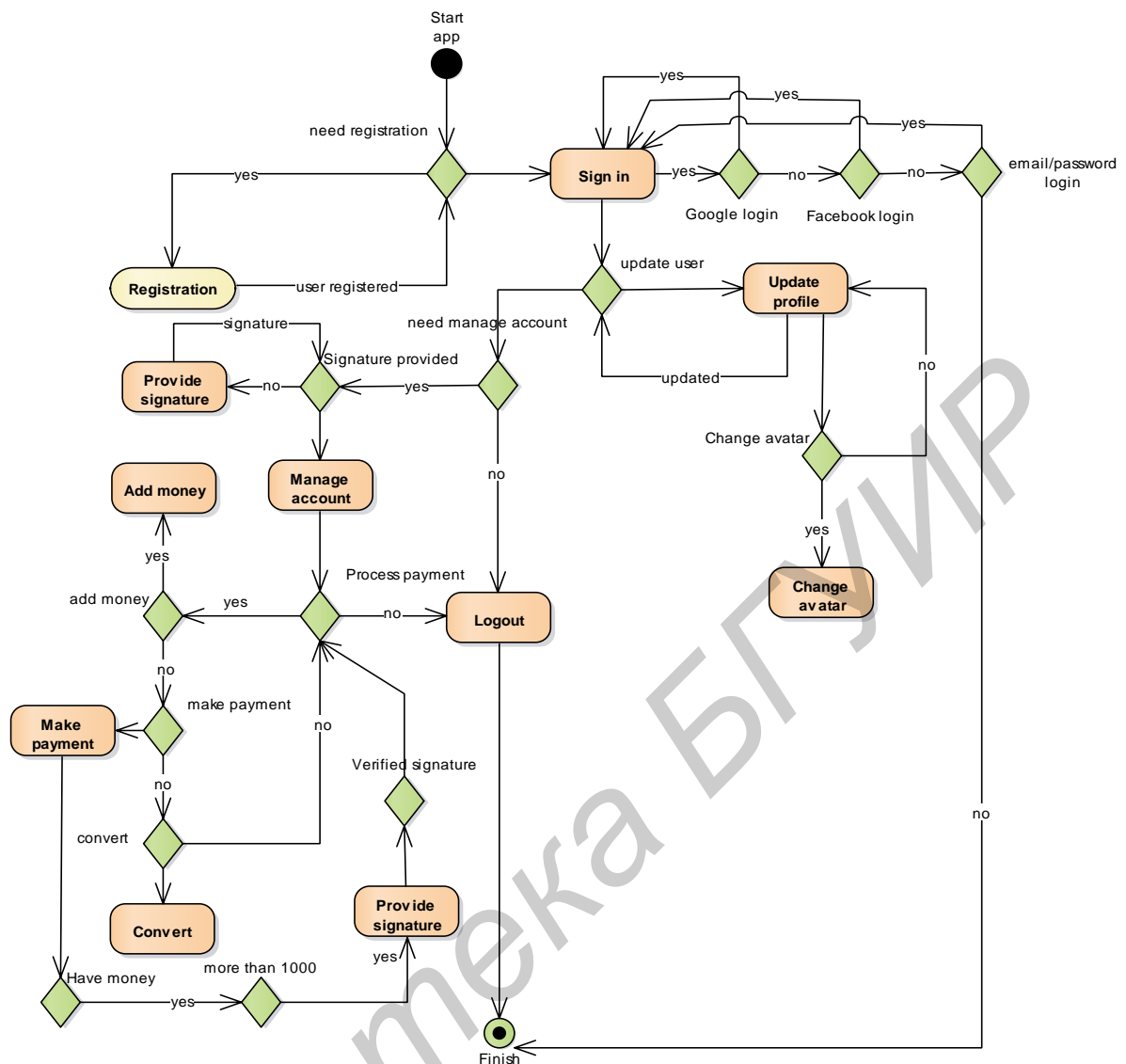


Рисунок 3 - Основной алгоритм работы программы

Также была разработана модель нейронной сети, которая превосходит современные методы с точки зрения точности распознавания изображений. Сверточная нейронная сеть доказала свое превосходство в процессе извлечения признаков по сравнению с большинством традиционных методов. Согласно поставленным задачам была разработана простая, но эффективная модель, которая может удовлетворить требования системы, а также показывать хорошую производительность в мобильных приложениях. Так как изображения подписи не обладают богатой текстурой, а присутствуют только линии, кривые и края, то очень глубоких особенностей в сети нет, так как увеличение уровней сети для набора данных подписей может приводить к снижению производительности сети. В связи с этим используем архитектуру упрощенной нейронной сети для проверки подписи (Shallow Convolution Neural Network, sCNN).

Чтобы извлечь параметры подписи, используем сверточную нейронную сеть в качестве базовой архитектуры. sCNN – это многоуровневая архитектура, которая имеет несколько слоев, таких как сверточный, пул и

полностью связанные слои (рисунок 4).

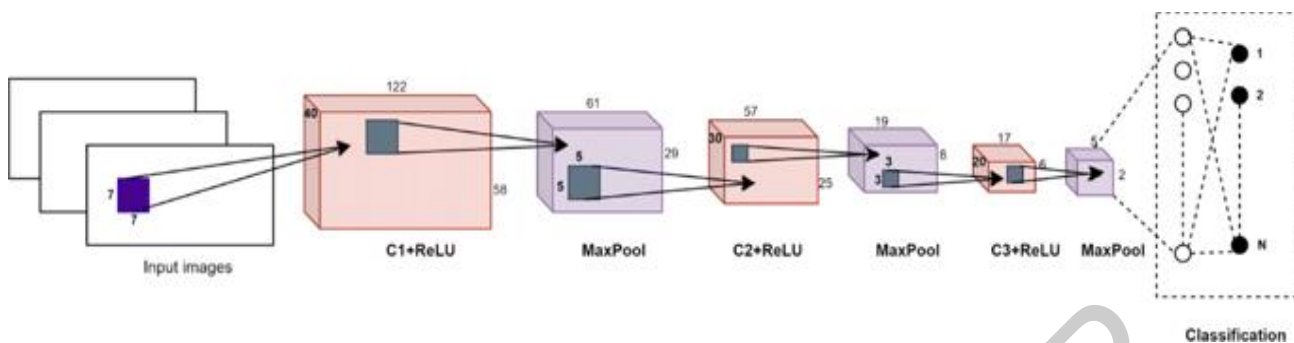


Рисунок 4 – Архитектура Shallow Convolution Neural Network

На рисунке 4 представлена архитектура предлагаемой сети. Модель имеет три сверточных слоя и один полносвязный слой. Необработанные изображения подписей передаются на входной уровень сети, который принимает в качестве данных изображения размером 64x128.

На рисунке 5 приведена блок-схема предлагаемого алгоритма по увеличению набора данных (data augmentation). Перед обучением все изображения подписей проходят этап предварительной обработки. Предварительно обработанные изображения подписей поступают в блок sCNN. Далее нейронная сеть обучается на обучающем наборе данных изображений. Извлеченные sCNN сетью параметры поступают в классификатор softmax. После обучения и валидации сети мы получаем обученную модель. В дальнейшем с помощью этой обученной модели проверяется тестовая подпись на соответствие пороговому значению (рисунок 5).

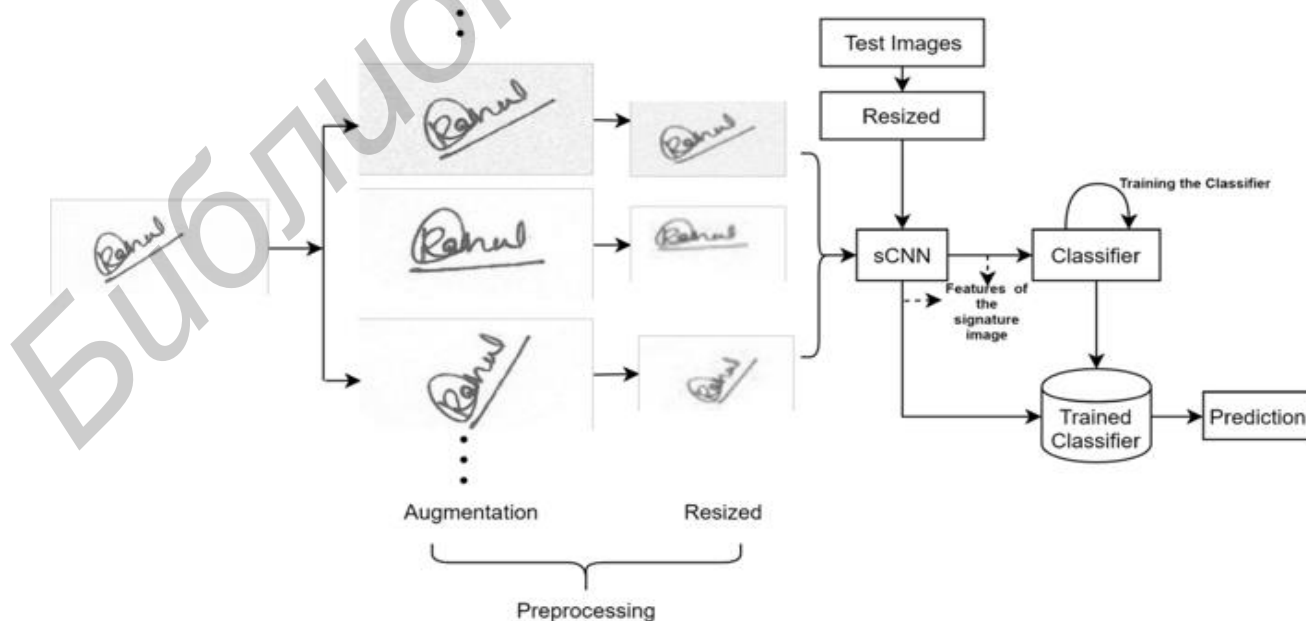


Рисунок 5 – Предлагаемый алгоритм

Для разработки и обучения предложенной модели сверточной нейронной сети использовались Python 3.7 в качестве языка программирования,

фреймворки TensorFlow 2.0 и TensorFlow Lite 2.0 для работы с нейронными сетями, а также PyCharm Community Edition 2020.1 в качестве среды разработки.

В четвертой главе был рассмотрен процесс работы приложения с использованием Android-эмулятора. На стартовой странице пользователю предлагается аутентифицироваться с помощью существующего аккаунта или пройти процесс регистрации. Также есть возможность аутентификации с помощью Google или Facebook аккаунта. После успешной аутентификации пользователь попадает на страницу управления информацией о профиле и его счетом, а также получает возможности по обновлению информации о профиле, изменение аватара, добавлению экземпляра подписи и управлению счетом. Предоставленный экземпляр оригинала подписи будет отображаться на главной странице пользователя (рисунок 6).

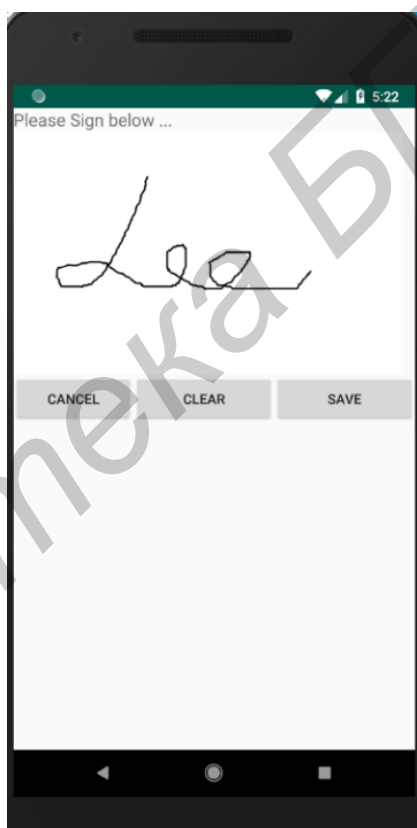


Рисунок 6 – Страница предоставления подписи пользователем

В окне управления счетом пользователь может пополнить счет, совершить платеж, конвертировать валюту. При попытке пользователем совершить платеж на сумму более, чем 100 белорусских рублей (BYN), он будет перенаправлен на страницу предоставления подписи, после чего предоставленный экземпляр подписи будет валидироваться в сравнении с оригиналом. В случае, когда подпись соответствует предоставленному оригиналу пользователь получит сообщение об успешном результате верификации и платеж будет подтвержден и сохранен.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Разработана архитектура мобильного приложения в качестве информационной системы распознавания рукописной подписи. Функционирование системы в режиме реального времени обеспечивается за счет специальной подсистемы по распознаванию рукописных подписей, основанной на предобученной модели сверточной нейронной сети, а также включающей процесс предварительной обработки входных изображений подписи.

2. Предложена архитектура сверточной нейронной сети для решения задач по распознаванию рукописных подписей. Предложенная модель довольно проста с точки зрения количества основных слоев (Conv и Pool) и, в отличие от других современных архитектур сверточных нейронных сетей, имеет меньшее количество весовых параметров, подлежащих оптимизации. В связи с малым количеством слоев и параметров, время, затрачиваемое на обучение и тестирование предлагаемого подхода, будет значительно ниже.

3. Предложен алгоритм предварительной обработки изображений подписей, с последующим увеличением набора данных (data augmentation) для улучшения точности распознавания.

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Полученные результаты формируют теоретическую и практическую базу для разработки информационных систем для решения задач распознавания рукописных подписей в режиме реального времени. Они могут быть использованы для внедрения, модернизации и дальнейшего развития существующих систем.

2. Разработанная модель сверточной нейронной сети и алгоритм предварительной обработки входных данных могут быть применены для решения задач, связанных с распознаванием изображений, в том числе рукописных знаков, образов. В работе описан подход по внедрению обученной модели нейронной сети в мобильное приложение.

3. Результаты работы могут использоваться как один из способов верификации личности в банковских, страховых и других организациях, где процесс предоставления подписи носит обязательный характер для подтверждения совершения операций.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Тезисы конференций

1. Пинтусов, Д.Н. Информационные системы идентификации рукописной подписи / Д.Н. Пинтусов // Информационные технологии и системы 2019 (ИТС 2019): материалы международной научной конференции. – 2019. – БГУИР. – с. 256–257.