

Арлазаров Владимир Викторович

**Мобильное распознавание и его применение к
системе ввода идентификационных документов**

Специальность 2.3.1 – «Системный анализ, управление и
обработка информации, статистика»

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
доктора технических наук

Москва – 2023

Работа выполнена в Федеральном исследовательском центре «Информатика и управление» Российской академии наук в отделении №9

Официальные
оппоненты: **Мясников Владислав Валерьевич**
доктор физико-математических наук, профессор Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева»

Уткин Лев Владимирович
доктор технических наук, профессор Высшей школы искусственного интеллекта Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ)»

Гридин Владимир Николаевич
доктор технических наук, профессор, научный руководитель Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Центр информационных технологий в проектировании Российской академии наук (ЦИТП РАН)»

Ведущая
организация: Федеральное государственное учреждение «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук»

Защита диссертации состоится «06» июня 2023 года в 11:00 на заседании диссертационного совета 24.1.224.01 на базе ФИЦ ИУ РАН по адресу: 117312, Россия, Москва, Проспект 60-летия Октября, 9. (конференц-зал, 1-й этаж).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФИЦ ИУ РАН по адресу: Москва, ул. Вавилова, д. 40 и на официальном сайте <http://www.frccsc.ru>.

Электронные версии диссертации и автореферата размещены на официальном сайте ФИЦ ИУ РАН по адресу: <http://www.frccsc.ru>

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просьба высылать по адресу: 119333, г. Москва, ул. Вавилова, д. 44, корп. 2, ученому секретарю диссертационного совета 24.1.224.01

Автореферат разослан «__» _____ 2023 г.

Телефон для справок: +7(499) 135-51-64

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.1.224.01
канд. физ.-мат. наук, доцент

И.В. Смирнов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Сегодня большинство процессов взаимодействия человека с организациями начинается с удостоверения личности и ввода персональных, а нередко и биометрических, данных в различные информационные системы. Кроме того, в результате мер, направленных на борьбу с эпидемией COVID-19, множество услуг стало предоставляться удаленно, при этом законами требуется проведение удаленной идентификации личности. Открытие счета в банке, получение кредита, перевод крупной денежной суммы, покупка страховых услуг, услуг связи, ювелирных украшений, получение посылки и многое другое требует физического или удаленного предъявления документов, удостоверяющих личность. При каждом таком действии необходимо ввести из предъявленного документа персональные данные, а также проверить, настоящий это документ или нет. Естественно, все эти процессы нуждаются в автоматизации.

В развитие методов распознавания и автоматического ввода документов, а также более широких областей компьютерного зрения, искусственного интеллекта, и распознавания образов, большой вклад внесли отечественные и зарубежные ученые Ю.И. Журавлев, С.Ю. Желтов, Ю.В. Визильтер, И.Б. Гуревич, В.А. Сойфер, А.Б. Петровский, В.Л. Арлазаров, О.А. Славин, Д.П. Николаев, Жан-Кристоф Бюри (Франция), Жан-Марк Огьер (Франция), Дэниел Лопрести (США), Димостенис Каратзас (Испания), Коити Кисэ (Япония), Чэн-Линь Лю (КНР) и другие.

Можно было бы сказать, что есть огромный опыт распознавания обычных документов, который можно использовать для целей анализа документов, удостоверяющих личность. Но, хотя на первый взгляд процессы распознавания выглядят одинаково, есть ряд особенностей, которые существенно меняют задачу и не позволяют использовать подходы, разработанные для обычных документов.

Первой особенностью является сам документ, удостоверяющий личность. Он создан таким образом, чтобы максимально затруднить его фальсификацию и подделку. Для этого используются разные элементы защиты: сложные разноцветные фоны (в том числе и гильоширные), голографические элементы защиты. Кроме того, документы, удостоверяющие личность, часто ламинируют специальной пленкой или даже делают их из пластика. Сама информация наносится различными способами: эмбоссингом, гравировкой, термопечатью, спеканием. Зачастую используются уникальные секретные шрифты. Все эти особенности объекта распознавания делают многие методы, использованные для классического распознавания документов, не применимыми. Особую проблему представляют оптически-изменяемые элементы (англ. Optical Variable Devices,

OVD), которые расположены поверх текста и при сканировании обычными планшетными сканерами могут в буквальном смысле засветить участок изображения, содержащий текст.

Вторую особенность принесло широкое распространение мобильных устройств, таких как смартфонов или планшетов, которые стали повседневным средством доступа к всевозможным услугам. Современные смартфоны имеют одну или несколько фото/видео камер, значительный объем памяти и вычислительные ресурсы для выполнения разнообразных задач. Например, для многих банков мобильное приложение стало основным способом взаимодействия с клиентом. Логичным шагом стало использование камеры для захвата изображения документов и вычислительных мощностей для распознавания. Однако, кроме высокой скорости захвата изображения документа, фотографирование принесло и новые проблемы, связанные с качеством камер и неконтролируемыми условиями съемки, не характерные для традиционного сканера: шум матрицы, переменные и неизвестные условия освещения, блики, расфокусированность, смаз. Появились также совершенно новые проблемы анализа документов: восстановление координатной системы сцены и поиск документа в этой трехмерной сцене. Несмотря на то что современные смартфоны обладают значительными вычислительными мощностями, в среднем они все еще уступают персональным компьютерам и, тем более, серверным системам, что налагает определенные рамки на вычислительную сложность алгоритмов распознавания.

Помимо вышеперечисленных новых особенностей, связанных со сменой источника изображений, сложностями самого объекта, стоит также отметить, что требования к качеству распознавания документов, удостоверяющих личность, превосходят требования по качеству для обычных документов ввиду важности удостоверяющих документов для краеугольных бизнес-процессов.

Таким образом, важная с практической точки зрения задача является **актуальной** и требует для своего решения новых научных и технических подходов.

Целью данной работы является исследование задач, связанных с построением систем распознавания документов, удостоверяющих личность, и создание архитектуры и алгоритмов, необходимых для построения кардинально новых систем этого типа.

Для реализации этой цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Предложить метод выделения документа на сложном фоне, не требующий бинаризации и учитывающий проективные искажения, возникающие при обработке фото и видео снимков.

2. Предложить метод выделения текстовых зон на документе, не требующий распознавания текстов и учитывающий возможные перепады яркостей и нарушения «прямолинейности» строк текста.

3. Разработать метод распознавания строки, не требующий базовых линий, учитывающий возможные блики и другие неконтролируемые условия освещения.

4. Предложить метод проверки подлинности удостоверяющих документов, включающий как проверки геометрического характера (подписи, печати и т. д.), так и логического характера.

5. Исследовать методы использования видеопотока для улучшения качества распознавания и предложить алгоритмы комбинирования результатов и ограничения числа рассматриваемых кадров.

6. Предложить методы построения коллекций «искусственных» удостоверяющих документов с нужными характеристиками для обучения и контроля программ распознавания, учитывая трудности получения реальных документов.

7. На базе предложенных методов разработать универсальный программный комплекс распознавания документов, удостоверяющих личность, который в каждом конкретном случае работал бы на уровне лучших мировых образцов.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующих аспектах:

1. В диссертации впервые предложена универсальная архитектура системы распознавания документов, удостоверяющих личность, опирающаяся на современные методы обработки изображений. На основе методов математической морфологии, Виолы-Джонса и RANSAC разработаны алгоритмы, позволяющие эффективно выделять изображение документа на сложном фоне, осуществлять поиск образца и отображение документа на шаблон, выделять и распознавать отдельные поля документа, а также осуществлять проверки подлинности.

2. Впервые проведен широкий анализ методов использования видеопотока для распознавания документов, удостоверяющих личность. Построена новая вероятностная модель на основе распределения Дирихле, адекватно описывающая оценки результатов распознавания на кадрах видеопоследовательности и согласующаяся с эмпирическими данными по критерию Андерсона-Дарлинга, пригодная к использованию как для получения комбинированного результата распознавания объектов в видеопоследовательности, так и для принятия решения об остановке процесса распознавания.

3. Впервые построены базы видеопотока изображений документов, удостоверяющих личность, в объемах, позволяющих проводить обучение алгоритмов и контроль программных комплексов. Для этого разработана

оригинальная система аугментации, технология получения бумажных псевдодокументов и предъявления их в видеопотоке.

4. Разработан уникальный программный комплекс распознавания идентификационных документов. На базе него создан ряд прикладных систем, внедренных и внедряющихся в государственные организации, банках, у операторов связи, в аэропортах, на железных дорогах и т. п., как в России, так и за рубежом.

Положения, выносимые на защиту:

1. При работе с идентификационными документами с помощью мобильных устройств традиционные методы распознавания документов, основанные на бинаризации изображения, поиске прямоугольников, идентификации полей текстами и т. п., оказываются недостаточными или даже неприменимыми. Необходимо опираться на современные методы обработки 2D и 3D изображений, особенности видеопотока и специфику самих документов, удостоверяющих личность.

2. Для идентификации документа на изображении и полей на документе можно использовать алгоритмы, основанные на выделении особых точек, но необходимы специальные механизмы для ускорения поиска, разработанные в диссертации.

3. Использование видеопотока является серьезным ресурсом для повышения качества распознавания документов, удостоверяющих личность. При этом механизмы, объединяющие выбор наилучшего кадра, комбинирование результатов распознавания и метод прогнозирования оценок для определения точки останова, разработанный в диссертации, в сумме обеспечивают близкие к оптимальным решения по критериям максимизации функции, включающей оценки скорости и качества распознавания.

4. Разработанные в диссертации методы построения коллекций видеоизображений и видеопотока, основанные на аугментации и специальных методах обработки, дают возможность построить базы данных для обучения системы распознавания и контроля результатов, даже имея единичные изображения заданного типа документов.

5. Ряд методов, разработанных для ускорения работы программ распознавания, как связанных с приближениями в нейронных сетях, так и с использованием особенностей архитектуры компьютеров, позволяют добиться на мобильных устройствах высокой скорости работы, сопоставимой или превышающей скорости захвата изображения. В том числе, удастся добиться приемлемых результатов на отечественных платформах.

6. Важнейшей частью системы распознавания документов, удостоверяющих личность, является система проверки подлинности. Разработанные в диссертации методы (наличия обязательных объектов, таких как подписи и печати, контроля фактуры печати и шрифта и др.) позволяют охватить большой круг возможных фальсификаций и подделок.

Методология и методы исследования. Основой проводимых в диссертации исследований является методология системного анализа. В теоретической части используются методы теории вероятностей и математической статистики. В алгоритмической части работы используются современные методы Computer Science и, в частности, методы цифровой обработки изображений.

Публикации. Основные результаты по теме диссертации изложены в 40 печатных работах, 20 из которых изданы в журналах, рекомендованных ВАК, 30 работ индексируется Web of Science и Scopus (включая 10 работ, опубликованных в журналах Q1 и Q2).

Личный вклад. Все основные результаты диссертации получены автором самостоятельно. В большинстве совместных публикаций по теме диссертации автору принадлежат постановки задач и принципиальный подход к их решению. В то же время детальная проработка алгоритмов и их реализация чаще всего принадлежит соавторам. В работах [1-2; 17; 39] соискателем предложен общий подход к построению системы распознавания документов, удостоверяющих личность, на мобильных устройствах, проработана архитектура и определено место алгоритмов проверки подлинности документов. В работе [8] соискателем лично исследован вопрос использования проблемно-ориентированных пакетов данных в научных работах по распознаванию документов, удостоверяющих личность, поставлена задача создания новых пакетов данных. В работах [3; 15; 22; 32; 35] соискателем лично разработана методика создания датасетов, подобран инструментарий и определены способы соблюдения законодательства. В работе [6] соискателем рассмотрены проблемы распознающих систем, обрабатывающих разнородные входные данные, а также сформированы подходы к построению системы распознавания. В работе [7] соискателем предложены основные этапы обработки шаблона документа ID-карт. В работе [9] соискателем предложены методы комбинирования множественных результатов распознавания текста при распознавании видеопотока. В работах [5; 12; 18; 32; 34] соискателем предложено использование семейства каскадных классификаторов для решения задачи локализации штампов и печатей на документах для определения их подлинности, а также предложен подход по аугментации обучающих данных для эффективного обучения таких классификаторов. В работах [11; 13; 16; 25; 29; 35-37] соискателем рассмотрена проблема останова распознавания документа, а также предложены и

проанализированы методы останова процесса распознавания на основе анализа популяций результата распознавания, рассмотрена проблема комбинирования результатов распознавания видеопотока и предложена серия подходов для решения сформулированной задачи. В работах [20; 38-39] соискателем лично предложена модель распознавания документов с оценкой качества в видеопотоке.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на следующих профильных международных конференциях (четыре из которых относятся к конференциям ранга A1 и A2 по системе ранжирования Qualis):

- 25th International Conference on Pattern Recognition (ICPR 2020), Милан, Италия – конференция **ранга A1**;
- 16th International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR 2021), Лозанна, Швейцария – конференция **ранга A2**;
- 15th International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR 2019), Сидней, Австралия – конференция **ранга A2**;
- 14th International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR 2017), Киото, Япония – конференция **ранга A2**;
- 15th International Conference on Machine Vision (ICMV 2022), Рим, Италия;
- 14th International Conference on Machine Vision (ICMV 2021), виртуальная конференция;
- 13th International Conference on Machine Vision (ICMV 2020), виртуальная конференция;
- 12th International Conference on Machine Vision (ICMV 2019), Амстердам, Нидерланды;
- 11th International Conference on Machine Vision (ICMV 2018), Мюнхен, Германия;
- 10th International Conference on Machine Vision (ICMV 2017), Вена, Австрия;
- 9th International Conference on Machine Vision (ICMV 2016), Ницца, Франция.

В 2020 году результаты диссертационной работы были представлены в пленарном докладе «Recognition of documents with fixed layout on a mobile device: coarse-to-fine Approach» на VI Международной конференции и молодежной школы «Информационные технологии и нанотехнологии» (ИТНТ-2020).

Грантовая поддержка. Ряд исследований по теме диссертационной работы поддержаны Российским фондом развития информационных технологий и Российским фондом фундаментальных исследований, в которых соискатель выступал непосредственно в роли руководителя проекта. Соответственно, часть

результатов диссертации была получена в процессе выполнения работ по следующим грантам:

– Соглашение № 2021-550-80 от 29.06.2022, проект «Доработка программы для распознавания идентификационных карт личности «Smart ID Engine»: разработка модуля выявления признаков фальсификации документов и атак на предъявление документов в оптическом диапазоне на основе технологий искусственного интеллекта»;

– Проект РФФИ 17-29-03170 офи_м «Исследование быстродействующих методов и алгоритмов обработки изображений и оптического распознавания для использования в мобильных устройствах с ограниченной вычислительной производительностью»;

– Проект РФФИ 18-07-01384 «Исследование применимости методов нелинейных аппроксимаций для оптимизации быстродействия искусственных нейронных сетей на современных микропроцессорных архитектурах»;

– Проект РФФИ 15-07-06520 «Методы контроля подлинности документов и их фрагментов в гибридных системах обработки, передачи и хранения документов».

Теоретическая значимость работы состоит в том, что предложена новая постановка задачи и предложены новые подходы к построению систем распознавания документов, а также в возможности развития методов, разрабатываемых в диссертации, как в рамках систем рассматриваемого в работе класса, так и в рамках других активно развивающихся направлений распознавания документов.

Практическая значимость диссертационной работы состоит в применимости предлагаемых в диссертации концепций и методов к построению практических систем распознавания идентификационных документов. Она подтверждается созданием программного инструментария на базе решений, предложенных в работе, который применен в большом количестве прикладных систем, работающих в сотнях организаций, использующих распознавание паспортов РФ, пластиковых карт, машиночитаемых зон, водительских удостоверений и других документов. Практическая значимость работы подтверждается также 2 патентами США, 5 патентами на изобретение РФ, 16 патентами на полезную модель и 4 свидетельствами о государственной регистрации программы для ЭВМ, в которые входят результаты, содержащиеся в диссертации.

Достоверность полученных результатов подтверждается многочисленными публикациями, многие из которых имеют высокий уровень цитируемости. Результаты также докладывались на ведущих по данной тематике международных

конференциях. Программные комплексы, созданные на основе результатов, описанных в диссертации, успешно работают в большом числе организаций.

Результаты диссертационного исследования **соответствуют паспорту специальности** 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика», а именно пункту 1 «Теоретические основы и методы системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта», пункту 2 «Формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта», пункту 4 «Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта», пункту 5 «Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения для решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта».

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав и заключения. Полный объем диссертации составляет 358 страниц, включая 104 рисунка и 27 таблиц. Список литературы содержит 350 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** описывается тема диссертационного исследования, обсуждается ее актуальность и новизна, формулируются цели и задачи диссертационной работы и обосновывается ее практическая и теоретическая значимость. Приводятся основные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** приводится обзор и анализ современного состояния исследований в области обработки изображений документов методами компьютерного зрения. Представлен обзор актуальных методов предварительной обработки изображений документов, таких как нормализация изображения, коррекция цвета, бинаризация, улучшение качества изображения. Рассмотрены существующие подходы к задачам классификации и идентификации документов, локализации документов на изображениях, анализу структуры документов, распознавания отдельных объектов, таких как символы и слова, а также к задаче постобработки результатов распознавания. Рассмотрены также сценарии применения методов и алгоритмов обработки изображений документов в таких задачах, как извлечение значимых атрибутов, присутствующих на документах, к задаче сравнения и проверки документов и к задаче автоматического ввода данных документов, удостоверяющих личность. Отмечена важность реализации алгоритмов распознавания образов в оптимизированном виде, применительно к

задачам анализа документов, ввиду усиления актуальности задач анализа изображений на таких вычислительных платформах, как мобильные устройства.

В результате анализа современного уровня исследований в данной области показано, что несмотря на наличие работ по отдельным аспектам систем распознавания документов, в литературе не представлено системного рассмотрения полного набора аспектов задачи распознавания документов, удостоверяющих личность. Кроме того, слабо изученными остаются вопросы работы систем распознавания на современных вычислительных платформах, таких как мобильные устройства – как с точки зрения ограниченных вычислительных ресурсов, так и с точки зрения возможностей, ранее не доступных традиционным системам распознавания, таких как использование видеопотока в качестве входных данных. Дополнительно отмечено, что особенной проблемой в области исследования систем и методов анализа и распознавания документов, удостоверяющих личность, является практически полное отсутствие открытых и репрезентативных пакетов экспериментальных данных, которые бы позволяли исследователям верифицировать свои результаты. На основании проведенного анализа в выводах к первой главе диссертации поставлены и сформулированы основные задачи диссертационной работы.

Во **второй главе** рассмотрена проблема распознавания идентификационных документов. Документом, удостоверяющим личность (удостоверяющим документом, ID-документом), считается любой документ, позволяющий идентифицировать личность его владельца. Набор информационных полей (как текстовых, так и графических) в таких документах соответствующий: различная персональная информация, относящаяся к владельцу документа. Наиболее часто на удостоверяющих документах указывают фамилию, имя и отчество, дату рождения, пол, государственный идентификационный номер, располагают фотографию владельца и оттиск подписи. Дополнительно документы могут содержать специальные кодифицированные зоны (машиночитаемые зоны, штрихкоды). На рисунке 1 представлены примеры документов, удостоверяющих личность.

В начале главы проведен системный анализ архитектуры комплексов распознавания документов, удостоверяющих личность. Выявлены особенности документов, удостоверяющих личность, оказывающие влияние на процесс распознавания и особенности формирования изображений этих документов.

Большое внимание уделено особенностям систем распознавания изображений документов, полученных с фото и видео устройств. Сложности при обработке фотографий по сравнению со сканами довольно многочисленны. Во-первых, фон в случае сканированного изображения, как правило, однороден, в то время как фотография документа может быть сделана на произвольном фоне.



Рисунок 1 — Пример изображений документов, удостоверяющих личность: удостоверение личность гражданина Албании (образца 2004 года), удостоверение личности гражданина Франции (образца 2021 года), паспорт гражданина Сербии (образца 2008 года).

Разнородный и неконтролируемый фон может оказаться препятствием для точного детектирования и локализации документа, особенно если фон со структурной точки зрения слишком сложен, имеет много высококонтрастных линий или локальных областей или содержит текст, который используемый алгоритм распознавания может ложно «признать» за часть документа. Вторая существенная трудность распознавания фотографий – это неконтролируемые условия освещения. Изображения, полученные со сканеров, всегда равномерно освещены, в то время как фотография может быть получена при слабом и неравномерном освещении, быть пере- или недоэкспонированной (выполненной с недостаточной экспозицией). Неравномерное освещение создает проблемы для детектирования и локализации документа на фотографии, а также для анализа структуры документа, распознавания текста и других компонентов. Кроме того, серьезной проблемой является расфокусировка или наличие размытия.

Но самым важным различием между изображениями, полученными с помощью сканеров и камер, является геометрическое положение документа на изображении. На изображении, которое получено с помощью веб-камеры или камеры мобильного устройства, документ может быть повернут на все три угла Эйлера по отношению к оптической системе камеры. Если камера рассматривается в рамках модели камеры-обскуры, то семейство возможных геометрических преобразований документа теперь является подмножеством проективных, что, как было показано ранее, значительно усложняет задачу предварительной локализации документа. Более того, на одном изображении возможно несколько проективных преобразований для разных частей документа (в случаях распознавания сброшюрованных документов, например паспортов). В главе показано, как задача

локализации и идентификации документа при наличии перечисленных ограничений может быть решена за счет применения походов, опирающихся на поиск ключевых точек и сопоставление их дескрипторов, которые в современной научной школе принято называть «Lowe-based segmentation».

Помимо фотографий, использование веб-камер и мобильных устройств для получения изображений документов привело к появлению другого вида входных данных — последовательности видеок кадров вместо одной фотографии. С точки зрения распознавания и анализа документов, использование нескольких входных изображений одного и того же объекта дает дополнительные преимущества (оказывается возможным применять методы фильтрации и уточнения для повышения точности обнаружения и локализации объекта, использовать так называемые методы «сверхразрешения» для получения изображений более высокого качества, улучшить результаты распознавания текста путем накопления пок кадровых результатов распознавания и их интеграции в один наиболее достоверный и т. п.), однако, в свою очередь, наличие в системе распознавания дополнительного элемента — модуля оценки качества входного изображения. В главе детально исследован подход к построению систем распознавания удостоверяющих документов со встроенными модулями оценки качества входных изображений и обратной связью, для чего введены необходимые определения и построена модель описания таких систем.

В главе также сформулирована и исследована новая с в части распознающих систем задача — проверки подлинности удостоверяющих документов, проработана архитектура и определено место алгоритмов проверки подлинности документов. В диссертации разработано три ключевых метода проверки подлинности — сверка избыточных данных, контроль способа нанесения текстовой информации и анализ круглых печатей, которые охватывают большой круг возможных фальсификаций и подделок.

Как уже было сказано выше, документы, удостоверяющие личность, образуют специальный класс документов, который отличается от остальных особенностями их изготовления и применения. Так, большинство удостоверяющих документов содержат специальную зону — машиночитаемую зону, которая специально наносится для автоматического считывания и в которой дублируется часть данных. Проверка документа на подлинность может заключаться в проверке совпадения результатов распознавания таких «дублируемых» полей из разных зон документа. В случае хотя бы одного несовпадения подлинность документа не подтверждается. Из-за ошибок оцифровки образа возможно появление ошибок распознавания, что делает невозможным наивное сопоставление распознанных данных, а требует детальной проработки вопросов надежности распознавания.

В диссертации исследована вероятностная модель распознавания текстовых строк для случая, когда вероятность распознавания каждого символа с алфавитом возможных значений A в рамках строки независима и равна p . Тогда вероятность верного распознавания изображения слова is , состоящего из n букв, равна p^n , то есть вероятность верного распознавания слова экспоненциально убывает при увеличении длины слова. Обозначим результат распознавания изображения is как $G(is)$, а истинное значение – как $T(is)$. В диссертации сформулировано и доказано несколько утверждений:

Утверждение 1. Пусть имеется k изображений слова is_1, is_2, \dots, is_k , на которых изображено слово s длины n . Обозначим за H событие $\{T(is_1) = T(is_2) = \dots = T(is_k) = s\}$. Тогда для вероятности совпадения результатов распознавания верно:

$$\left(p^k + \frac{(1-p)^k}{(|A|-1)^{k-1}}\right)^n \leq P(G(is_1) = G(is_2) = \dots = G(is_k)|H) \leq (p^k + (1-p)^k)^n.$$

Утверждение 2. Пусть имеется 2 изображения слов is_1, is_2 длины n . Пусть $p > 0.5$. Обозначим за H событие $\{T(is_1) \neq T(is_2)\}$. Тогда для вероятности совпадения результатов распознавания верно:

$$P(G(is_1) = G(is_2)|H) \leq 2p(1-p)(p^2 + (1-p)^2)^{n-1}.$$

Первое утверждение определяет вероятность согласованности результатов распознавания в нескольких полях, тогда как второе позволяет провести оценку вероятности ложного совпадения результатов распознавания полей. Описанная вероятностная модель была применена к задаче распознавания и верификации даты, проиллюстрирован способ определения необходимой точности распознавания отдельного символа для достижения целевых показателей ошибок 1 и 2 родов в задаче проверки подлинности за счет сверки избыточных данных.

Печати и штампы играют важную роль при рассмотрении задачи распознавания документов, удостоверяющих личность. Помимо придания необходимой юридической силы документу, печати и штампы зачастую используются для контроля валидности и подлинности. В главе представлен способ распознавания оттисков круглых печатей на примере общегражданского паспорта гражданина РФ, который в соответствии с требованиями содержит оттиск печати органа выдачи документа. Представленный в диссертации метод состоит из следующих основных этапов:

- локализация оттиска печати;
- нормализация изображения текстовой строки;
- поиск и распознавание области кода подразделения.

В качестве метода детекции точного положения печати могут использоваться подходы, основанные на обобщенном преобразовании Хафа, методе поиска

объектов Виолы и Джонса, а также аппроксимации компонент связности краев изображения фигурами искомой формы.

После того, как печать локализована, для применения методов оптического распознавания текста к изображению печати зона текста геометрически нормализуется путем «разворота» круглой (круговой) полосы печати на изображении в прямоугольник (см. рисунок 2).

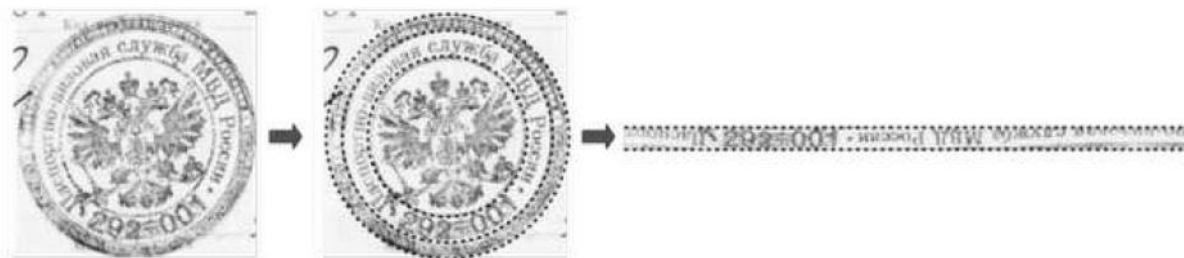


Рисунок 2 — Пример «разворота» оттиска печати.

После «разворота» текстовой строки необходимо выполнить локализацию целевого текста. Код подразделения наносится по шаблону XXX-XXX. Благодаря наличию шаблона, непосредственно поиск области кода подразделения можно выполнить с помощью алгоритма Виолы и Джонса на изображении. Распознавание кода подразделения на изображении производится традиционными методами оптического распознавания символов.

Еще один способ проверки подлинности документа, удостоверяющего личность, изученный в диссертации, заключается в контроле способа нанесения текстовой информации. С целью обеспечения должного уровня долговечности документа, а также для придания дополнительной защиты от фальсификации, в удостоверяющих документах используются различные техники нанесения текстовой информации. Так, например, в текстовых полях помимо традиционных способов печати (лазерной, струйной, трафаретной или офсетной) могут применяться лазерная гравировка, лазерная перфорация, эмбоссирование символов и другие (см. рисунок 3).

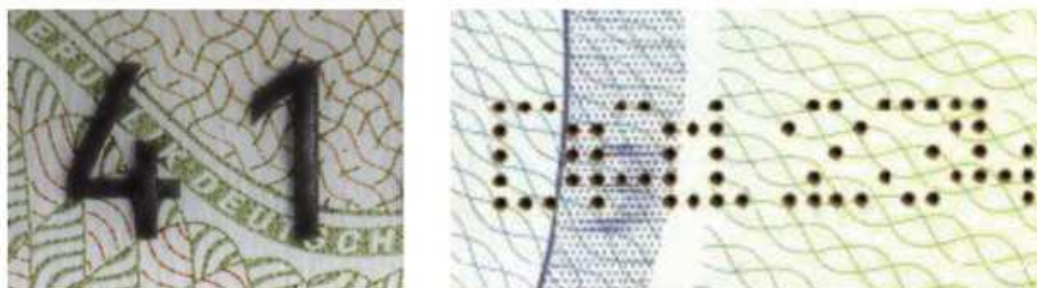


Рисунок 3 — Примеры текста, нанесенного методом лазерной гравировки с тактильным эффектом (слева) и лазерной перфорации (справа).

Кроме того, важной задачей является контроль семейства и начертаний шрифтов, которые использовались при нанесении текстовых данных. В большинстве стран при описании стандартов оформления документов, удостоверяющих личность, жестко регламентированы шрифты, которыми должны наноситься текстовые поля (см. рисунок 4). Отступление от данных стандартов является, в частности, значимыми признаком предъявления фальсификации вместо оригинального документа.

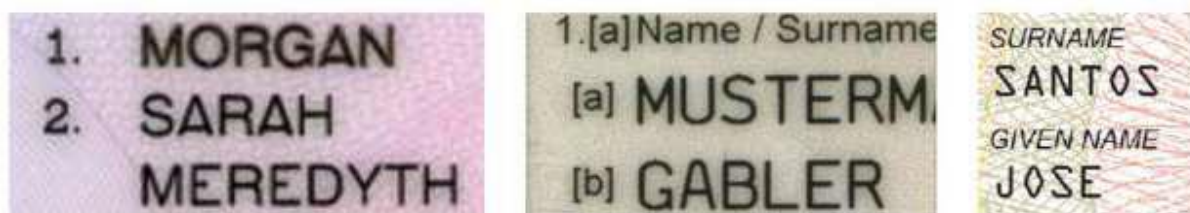


Рисунок 4 — Примеры используемых шрифтов при изготовлении (слева направо) британских водительских удостоверений, немецких идентификационных карт и филиппинских идентификационных карт.

В диссертации предложен способ построения подсистемы контроля способа нанесения текстовых полей и выявления аномалий с использованием инструмента полносвязных нейронных сетей. Рассматривается следующая задача. Пусть для определенного класса документов, удостоверяющих личность, заданные текстовые поля с точки зрения особенности нанесения обладают свойством A . Пусть есть исследуемое изображение текстового поля f . Необходимо проверить наличие свойства A у исследуемого изображения текстового поля f . Алгоритм решения сформулированной задачи строится на базе бинарного нейросетевого детектора, представляющего из себя полносверточную нейронную сеть, которая в результате обработки изображения текстового поля f строит карту оценок присутствия и отсутствия свойства A в каждой точке изображения f .

В заключении главы представлен подход к построению универсальной системы распознавания идентификационных документов с проверкой подлинности как композиции алгоритмов компьютерного зрения, применяемых в анализе трехмерных сцен, учитывающий выявленные особенности как документов, так и процессов формирования изображений.

В **третьей главе** рассматривается модель системы распознавания, в которой в качестве входных данных выступает последовательность кадров, захватываемых при помощи видеокамеры. Использование видеопоследовательности позволяет решать такие задачи, как компенсация бликов на поверхности документа, увеличение надежности результатов поиска и детектирования объектов, а также, в

особенности применительно к идентификационным документам, анализировать объекты с изменяющимися оптическими характеристиками, например, голографические элементы защиты.

В системах распознавания, работающих с видеопотоком, возникают такие новые задачи, как предварительная оценка кадров, межкадровое комбинирование и принятие решение об остановке распознавания. В главе представлены постановки этих задач и их вариаций, основанные на общем принципе минимизации функционала убытка, который можно кратко записать следующим образом:

$$V(x, \theta, M, N) = W_e \rho(x, \theta, M, N) + W_f n(x, M, N),$$

где x – последовательность изображений объекта, θ – корректное значение объекта, M – метод межкадрового комбинирования результатов обработки объекта, N – правило остановки процесса обработки видеопоследовательности, W_e – стоимость ошибки обработки, $\rho(x, \theta, M, N)$ – мера различия между корректным значением θ и результатом обработки части видеопоследовательности x , ограниченной по правилу остановки N и с использованием метода комбинирования M , W_f – стоимость обработки одного кадра видеопоследовательности, $n(x, M, N)$ – количество кадров последовательности x , обработанных до остановки по правилу N с использованием метода комбинирования M .

В главе рассмотрены различные подходы к межкадровому комбинированию результатов распознавания текстовых строк, такие как выбор лучшего результата по апостериорной оценке достоверности, выбор результата с одиночного изображения с лучшей оценкой фокусировки, или комбинирования результатов методом ROVER. Проведен сравнительный анализ этих подходов применительно к задаче распознавания текстовых полей документов, удостоверяющих личность, показывающий преимущество подходов с тем или иным комбинированием результатов по сравнению с распознаванием единственного изображения. В условиях съемки, близких к идеальным, наилучшие результаты комбинирования дает выбор лучшего кадра с помощью оценки фокусировки, а метод ROVER дает лучший результат в условиях помех (см. таблицу 1, рисунок 5).

Также в главе построена новая вероятностная модель, описывающая оценки принадлежности распознаваемых символов к тем или иным классам, изменяющиеся в видеопоследовательности. Предложены три модели на основе распределения Дирихле и его вариантов и описаны методы вычисления их внутренних параметров. Графики квантилей, подтверждающие согласованность моделей с наблюдениями, представлены на рисунке 6.

Таблица 1 — Среднее значение нормализованного расстояния Левенштейна до истинного ответа после комбинирования текстовых полей пакета MIDV-2019-D (документы, снятые в условиях проективных искажений).

Метод комбинирования	Количество комбинируемых кадров					
	5	10	15	20	25	30
Выбор изображения (оценка фокусировки)	0,0519	0,0459	0,0431	0,0447	0,0452	0,0463
Выбор результата (оценки достоверности)	0,0568	0,0514	0,0552	0,0530	0,0538	0,0540
Комбинирование методом ROVER	0,0546	0,0412	0,0388	0,0365	0,0370	0,0371
Выбор заведомо ближайшего	0,0277	0,0171	0,0149	0,0131	0,0113	0,0103

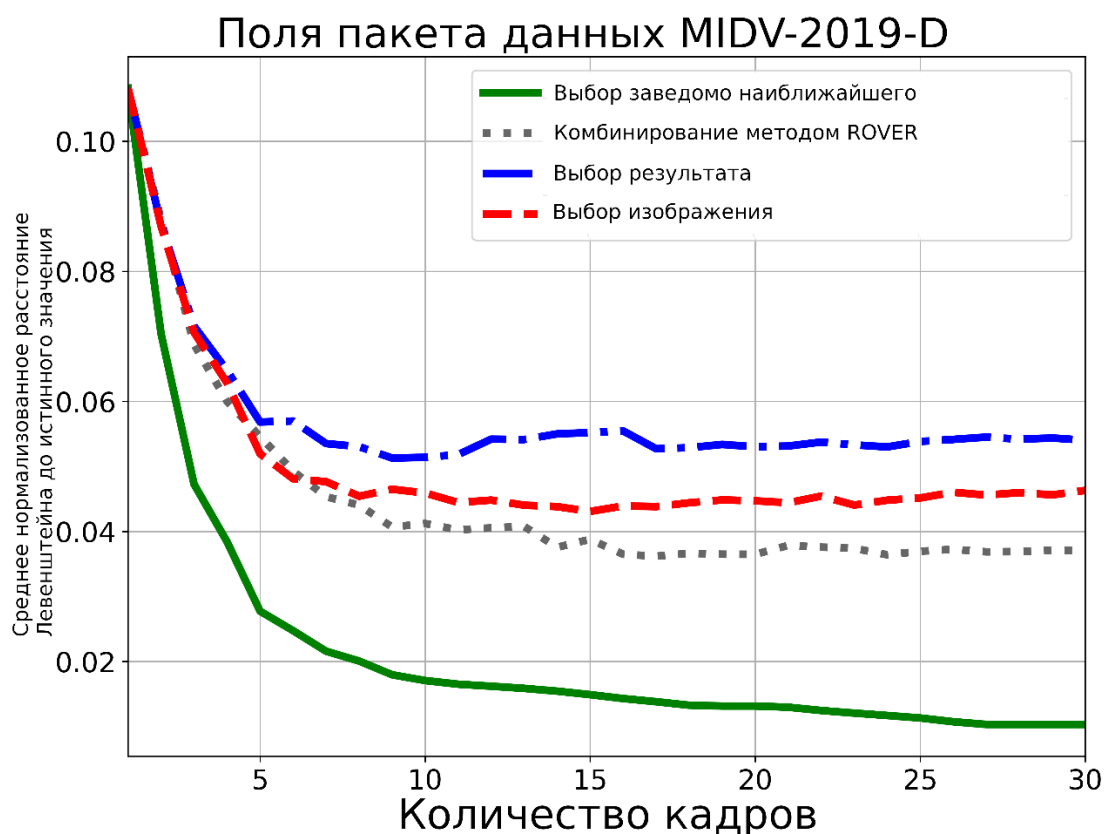


Рисунок 5 — Зависимость достигнутой точности распознавания строки от метода комбинирования, пакет данных MIDV-2019-D (подмножество видеопоследовательностей со значительными проективными искажениями).

Для формальной проверки соответствия моделей наблюдаемым данным был использован критерий согласия Андерсона-Дарлинга и было показано, что все предложенные модели согласуются с экспериментальными данными, и модель на основе распределения Коннора-Мосиманна обладает наилучшим значением как информационного критерия Акаике, так и критерия Андерсона-Дарлинга.

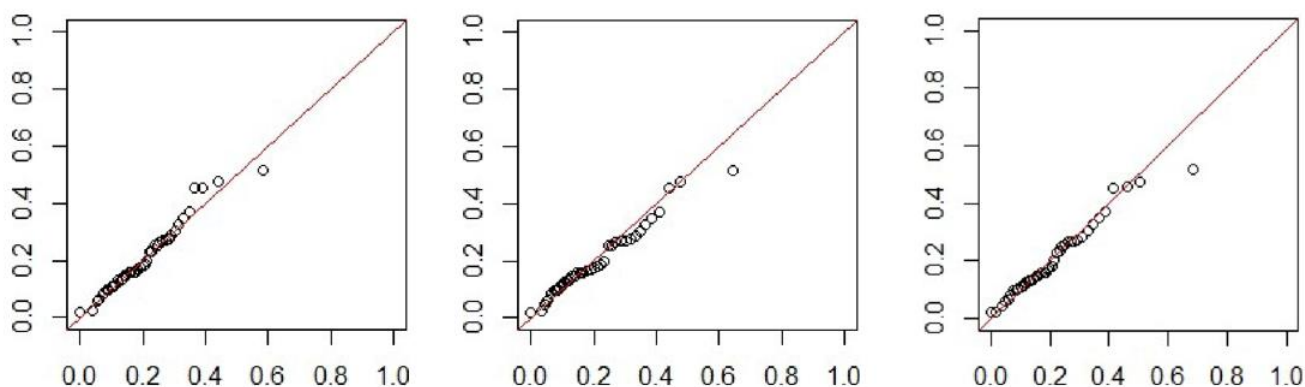


Рисунок 6 — Графики квантиль-квантиль для проверки характера выборочного и теоретического распределений, с использованием предложенных моделей а) на основе распределения Дирихле; б) на основе гибкого распределения Дирихле; в) на основе распределения Коннора-Мосиманна.

Полученные модели можно использовать для решения задачи межкадрового комбинирования результатов классификации символов, проводя соответствие между теоретическим распределением и наблюдаемым распределением покрупных оценок в видеопотоке.

В главе подробно рассмотрена задача принятия решения об остановке процесса распознавания в видеопоследовательности, как в формулировке ограничения количества обрабатываемых кадров, так и в формулировке с учетом реального времени обработки кадров. Рассмотрены методы остановки на основе анализа характеристик популяций получаемых результатов, так и на основе анализа ожидаемой разницы между текущим и следующим результатом распознавания, моделируемым на основе повторного комбинирования предыдущих результатов, либо на основе предложенных в диссертации вероятностных моделей. При помощи анализа профилей эффективности (см. рисунок 7) продемонстрировано, что использование правил остановки позволяет уменьшить среднюю ошибку анализа видеопоследовательности при ограничении на среднее количество обрабатываемых кадров (см. таблицу 2).

При исполнении систем распознавания на мобильных вычислительных устройствах, таких как смартфоны или планшетные компьютеры, важно уделять внимание трудоемкости применяемых алгоритмов обработки изображений и компьютерного зрения и техническим подходам, позволяющим минимизировать время исполнения. В особенности это важно в системах, обрабатывающих видеопоток. В главе описаны методы оптимизации вычислений в нескольких распространенных задачах обработки изображений, используемых в системах распознавания, с использованием SIMD-инструкций ARM NEON, доступных на большинстве современных мобильных вычислительных устройств.

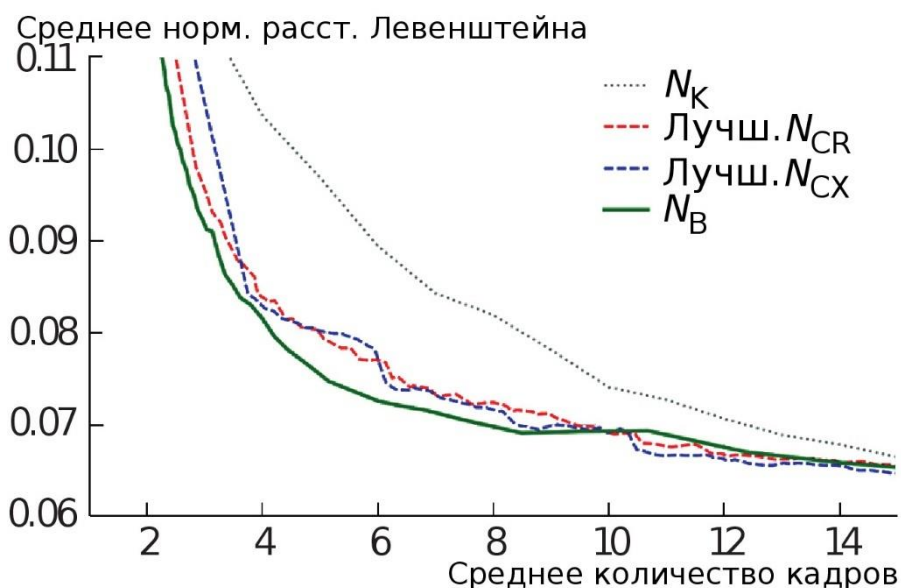


Рисунок 7 — Профили эффективности правил остановки для распознавания полей идентификационных документов (пакет данных MIDV-500).

Таблица 2 — Достигнутые значения среднего нормализованного расстояния Левенштейна до истинного значения в момент остановки с ограничением на среднее количество обработанных кадров (поля пакета данных MIDV-500).

Правило остановки	Ограничение на среднее количество кадров ($\leq N$)							
	≤ 3	≤ 4	≤ 5	≤ 6	≤ 7	≤ 8	≤ 9	≤ 10
Без правила остановки (комбинирование N кадров)	0,115	0,104	0,097	0,089	0,084	0,082	0,078	0,074
Анализ популяций комбинир. результатов	0,096	0,084	0,080	0,077	0,074	0,072	0,071	0,069
Анализ популяций поккадровых результатов	0,161	0,084	0,080	0,078	0,074	0,072	0,069	0,069
Моделирование следующего комбинир. результата	0,092	0,082	0,076	0,073	0,071	0,070	0,069	0,069

Предложенный алгоритм транспонирования матриц размером 8×8 пикселей с 16-битными беззнаковыми целыми значениями превосходит по скорости исполнения в 5,7 раз реализацию без использования SIMD-инструкций, и для матриц 16×16 пикселей с 8-битными беззнаковыми целыми значениями – в 12 раз. Для задачи морфологической фильтрации изображений предложена ускоренная при помощи SIMD-инструкций реализация метода ван Херка/Гиля-Вермана, превосходящая по скорости исполнения почти в 3 раза реализацию без SIMD-инструкций (для изображений размером 800×600 с 8-битными беззнаковыми целыми значениями пикселей), и линейная реализация с SIMD-

инструкциями, превосходящая оба предыдущих варианта, в случае размеров окон, меньших 60-ти пикселей.

Четвертая глава диссертации посвящена вопросам создания и использования пакетов данных для обучения и тестирования систем распознавания документов, которые наиболее остро стоят в области распознавания документов, удостоверяющих личность, в связи с природой содержащейся в них информации. Описаны методы синтеза данных для обучения и настройки алгоритмов распознавания, в том числе метод процесса формирования обучающих множеств в процессе эксплуатации системы, и описаны проблемы синтеза полностью искусственных обучающих выборок. Рассмотрен подход аугментации исходных образов объектов для получения репрезентативных обучающих выборок и, в частности, предложен алгоритм аугментации образов отпечатков круглых печатей для построения соответствующих классификаторов и детекторов.

Одной из наиболее важных задач при разработке систем распознавания является объективное количественное оценивание результатов работы таких систем. В главе представлена методология оценки качества работы систем распознавания идентификационных документов и отдельных ее компонентов. Ключевым аспектом оценки систем распознавания являются открытые пакеты данных, которые могут использоваться научным сообществом для объективного сравнения методов и алгоритмов. Хотя в открытом доступе существует несколько пакетов данных, содержащих изображения документов, удостоверяющих личность, их репрезентативность оставляет желать лучшего. В рамках диссертации был представлен системный подход к созданию таких пакетов данных, и были изготовлены и опубликованы 6 пакетов, предназначенных для анализа различных аспектов систем распознавания:

- пакет данных MIDV-500, представляющий собой коллекцию аннотированных видеопоследовательностей идентификационных документов из открытых источников;

- пакет данных MIDV-2019, расширяющий набор условий съемки документов, представленных в MIDV-500;

- пакет данных MIDV-2020 (см. рисунок 8), содержащий полностью синтетические данные, и представляющий собой обширную коллекцию видеопоследовательностей, фотографий и сканов идентификационных документов, снятых в различных условиях;

- пакет данных MIDV-LAIT, содержащий синтетические данные, предназначенный для использования в задачах распознавания документов с текстовыми полями, выполненные с использованием персидско-арабской, тайской и индийской письменности;

- пакет данных MIDV-Holo (см. рисунок 9), содержащий видеопоследовательности искусственно созданных документов с пленочными дифракционными оптическими элементами защиты (голограммами);
- пакет данных DLC-2021 (см. рисунок 10), содержащий модели атак на предъявление документов, включая случаи предъявления цветных неламинированных копий, полутонных копий и съемки изображения документа с экрана.



Рисунок 8 — Примеры видеокадров идентификационных документов из пакета данных MIDV-2020.



Рисунок 9 — Пример искусственно созданного документа из пакета данных MIDV-Holo, с дифракционными оптическими элементами защиты бланка, сфотографированного под двумя разными углами.



а)

б)

в)

г)

Рисунок 10 — Примеры изображений пакета данных DLC-2021:

а) «оригинальный» документ из пакета MIDV-2020; б) неламинированная цветная копия; в) неламинированная полутонная копия; г) съемка документа с экрана.

На основе опыта создания перечисленных пакетов данных, а также на основе их использования в научном сообществе исследователей методов анализа и распознавания документов, удостоверяющих личность, были сформулированы основные этапы и методологические принципы создания подобных пакетов данных, учитывающие особенности создания и адаптации исходных шаблонов документов, особенности предоставления разметки, и генерации значений текстовых реквизитов и графических полей без использования каких-либо персональных данных. Работа над открытыми пакетами важна не только для того, чтобы давать возможность исследователям проводить объективное сравнение и анализ методов решения тех или иных задач, но и для создания и развития новых научных связей между международными исследовательскими группами, объединенными интересом к общему кругу научных проблем.

В **пятой главе** приведено описание архитектуры промышленной системы распознавания удостоверяющих документов Smart ID Engine, реализующей высокоточное и безопасное программное обеспечение для распознавания данных более 2000 типов удостоверяющих документов 210 юрисдикций мира, архитектура которой представлена на рисунке 11. Компоненты системы можно разделить на три категории:

— компоненты, которые обрабатывают входные изображения или видеок cadры, выполняя поиск всех шаблонов и определение их координат (выделены зеленым на рисунке 11);

– компоненты, которые обрабатывают каждый отдельный шаблон документа (выделены желтым на рисунке 11);

– компоненты, которые комбинируют результаты распознавания шаблонов в логические представления документов, выполняют постобработку и выводят результат распознавания (выделены синим на рисунке 11).

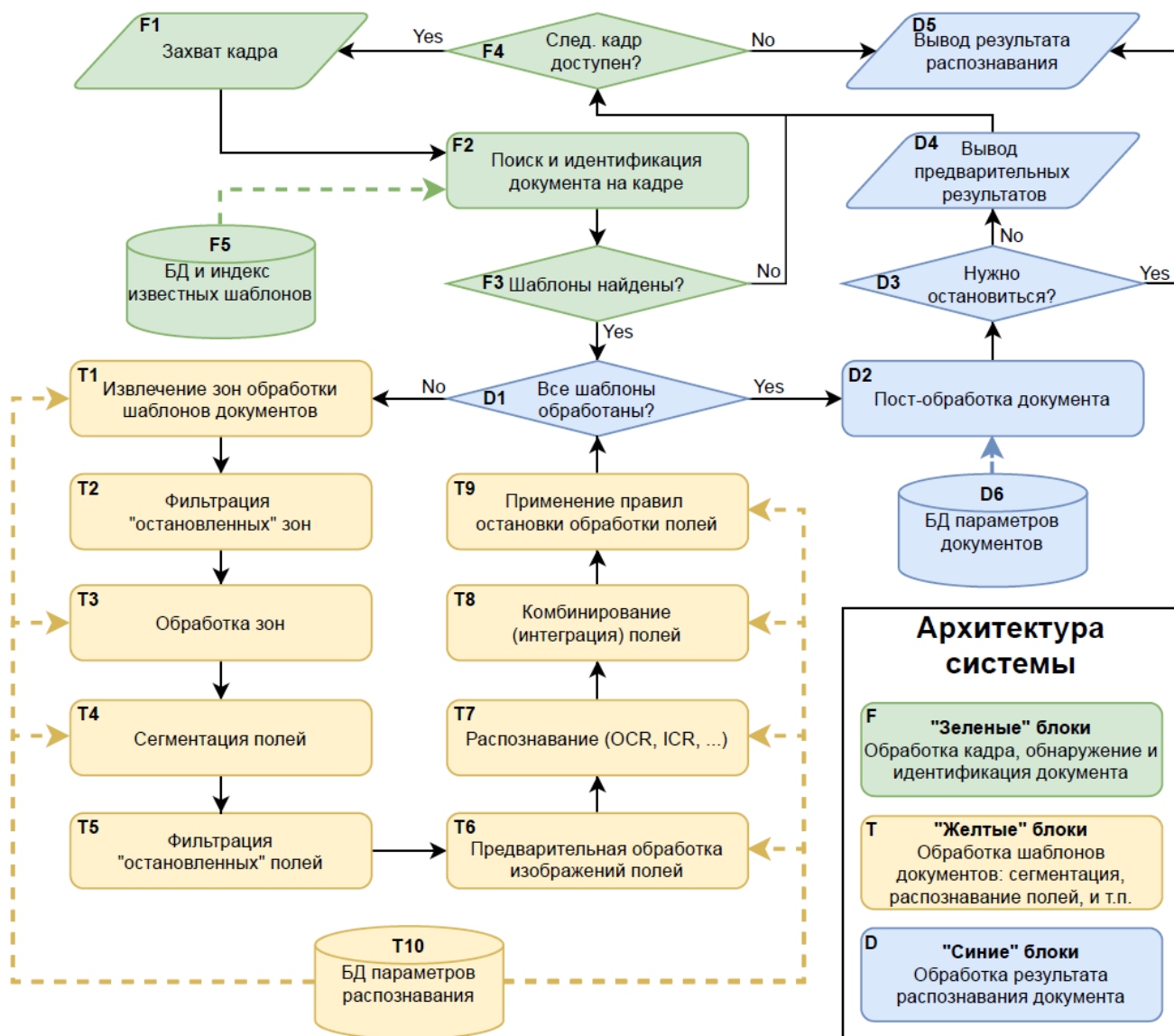


Рисунок 11 — Архитектура мобильного распознавания в промышленной системе ввода идентификационных документов Smart ID Engine.

Система Smart ID Engine предназначена для распознавания удостоверений личности на основе заранее определенного множества типов документов. Общие параметры системы могут быть разделены на три блока:

– база данных известных шаблонов документов с индексом, который используется при обнаружении и локализации шаблонов (блок F5 на рисунке 11);

– база данных параметров распознавания для каждого шаблона -- информация о шаблоне, его полях и их свойствах, и других данных, необходимых для извлечения и распознавания компонентов шаблона (блок T10 на рисунке 11);

– база данных документов, которая содержит информацию о том, как результаты распознавания отдельных шаблонов комбинируются и обрабатываются для получения окончательного результата распознавания документа (блок D6 на рисунке 11).

Ключевым алгоритмическим блоком подсистемы обработки входных данных является модуль локализации и идентификации документа на отдельном кадре (блок F2). Поскольку основной задачей Smart ID Engine является распознавание документов с фиксированной структурой, использовались методы, локализующие шаблоны по общему визуальному представлению. В частности, методы, основанные на алгоритме Виолы и Джонса, обобщенном в виде дерева решений сильных классификаторов, который может быть применен для обнаружения страниц документа и определения области, устойчивой к умеренным перспективным искажениям, а также методы, основанные на обнаружении границ документа, или на сегментации для выделения документа на фоне с помощью глубокого обучения. Также применяется универсальный метод, который использует идентификацию шаблона и сопоставление с помощью обнаружения особых точек и дескрипторов с помощью RANSAC. Результатом блока F2 является совокупность обнаруженных на изображении шаблонов, каждый из которых имеет собственный индекс и геометрические параметры шаблонов.

Подсистема обработки шаблона представляет собой последовательный алгоритмический конвейер, который начинается с извлечения и обработки отдельных зон документа. Каждая зона сегментируется на отдельные объекты (блок T4). Метод сегментации может варьироваться от зоны к зоне, в зависимости от ее структуры. Последующие шаги обработки шаблона связаны с анализом отдельных объектов. Если в качестве входных данных для системы используется видеопоток, результаты распознавания комбинируются в общий результат распознавания (блок T8), а также применяются условия для остановки процесса распознавания или для определения необходимости дополнительных наблюдений того же объекта (блок T9). Процесс интеграции T8 и условия остановки T9 используют временное хранилище цикла распознавания, поскольку данным блокам необходимо считывать и обновлять текущее состояние анализа видеопотока.

После обработки всех шаблонов выполняется формирование общего результата распознавания документа в целом. К текстовым результатам распознавания применяются синтаксические и семантические правила. Если на вход системы подавался видеопоток, то после этапа постобработки документа D2

принимается решение о том, можно ли считать результат конечным (блок D3). Если результат можно считать конечным, то он становится результатом процесса (блок D5), а процесс распознавания завершается.

Для количественной оценки производительности системы на мобильных устройствах было замерено время обработки реализованной системы одного кадра видеопоследовательности, с использованием различных мобильных устройств и распечатанных примеров документов из пакета данных MIDV-500. Результаты замеров представлены в таблице 3.

Таблица 3 — Среднее покадровое время (в секундах) обработки документа, удостоверяющего личность, на мобильном устройстве.

Мобильное устройство	Паспорт РФ (стр. 3)	Вод. удост. Германии	Паспорт Сербии	Паспорт Азербайджана	Вод. удост. Японии
Huawei Honor 8 (2016)	0.21	0.52	0.74	0.76	0.92
Xiaomi Pocophone F1 (2018)	0.12	0.28	0.49	0.42	0.61
Apple iPhone XS (2018)	0.08	0.22	0.31	0.37	0.39
Samsung Galaxy S10 (2019)	0.10	0.21	0.30	0.31	0.42
Apple iPhone SE 2 (2020)	0.07	0.18	0.20	0.34	0.41

Как можно заметить из таблицы 3, время обработки кадра значительно варьируется в зависимости от используемого устройства (в частности, можно заметить явную связь производительности системы с годом выпуска модели мобильного устройства, ввиду увеличения производительности мобильных центральных процессоров), так и в зависимости от распознаваемого документа. Минимальное время обработки достигается на 3-й странице паспорта гражданина РФ без машиночитаемой зоны, содержащей лишь 5 текстовых полей, выполненных кириллическим алфавитом и 2 поля из цифр и знаков препинания, максимальное время обработки требуется для распознавания водительского удостоверения Японии, на котором присутствует стандартная коллекция полей на японском языке (порядка 11 тысяч иероглифов).

Высокое быстродействие систем распознавания документов имеет важное значение не только для исполнения на мобильных устройствах, но и для повышения эффективности систем массового ввода документов. Такие системы, как правило, строятся на основе высокопроизводительных серверов, также обладающих процессорами с различной архитектурой, как общего назначения, так и специального. Архитектуры с принципом широкого командного слова (Very Long Instruction Word, VLIW) является одной из специальных архитектур для построения высокопроизводительных вычислительных систем. Примером такой архитектуры

является архитектура Эльбрус. Для оценки производительности распознающей системы использовалось среднее время распознавания одного изображения, содержащего произвольным образом повернутый документ заранее известного типа. Были рассмотрены 6 различных типов документов: паспорт РФ, биометрический паспорт РФ, водительское удостоверение (ВУ) РФ, водительское удостоверение (ВУ) Великобритании, идентификационная карта Германии, листок нетрудоспособности. В таблице 4 приведено среднее время распознавания документов каждого типа в режимах «клиентского» (распознавание одиночного изображения) и «серверного» (распознавание в рамках потока большого объема) распознавания.

Таблица 4 — Среднее время распознавания различных типов документов на аппаратных платформах с вычислительной архитектурой Эльбрус.

Документ	Эльбрус 101-РС	Эльбрус 401-РС	Эльбрус 4.4	Эльбрус 801-РС	Эльбрус 8.4
«Клиентский» режим – распознавание одиночного изображения					
Паспорт РФ	3,87 с	1,90 с	1,80 с	1,21 с	1,09 с
Биом. паспорт РФ	3,33 с	1,85 с	1,80 с	1,10 с	1,05 с
ВУ РФ	4,24 с	2,12 с	1,81 с	1,24 с	1,09 с
ВУ Великобритании	2,26 с	1,08 с	1,03 с	0,69 с	0,66 с
Идент. карта Германии	2,32 с	1,22 с	1,13 с	0,77 с	0,72 с
Листок нетрудоспособности	7,59 с	3,40 с	2,65 с	1,97 с	1,49 с
«Серверный» режим – пакетная обработка с максимальной нагрузкой					
Паспорт РФ	–	1,27 с	0,36 с	0,43 с	0,11 с
Биом. паспорт РФ	–	1,13 с	0,36 с	0,42 с	0,11 с
ВУ РФ	–	1,79 с	0,47 с	0,64 с	0,16 с
ВУ Великобритании	–	0,93 с	0,26 с	0,32 с	0,08 с
Идент. карта Германии	–	0,99 с	0,26 с	0,37 с	0,10 с
Листок нетрудоспособности	–	2,22 с	0,66 с	0,86 с	0,22 с

В заключении приведены основные результаты диссертации.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ

1. Предложен подход к созданию систем распознавания документов, удостоверяющих личность, учитывающий и объединяющий особенности формирования изображений, получаемых с мобильных устройств, специальных сканеров документов и классических сканеров. Рассмотрено место и возможность использования особенностей видеопотока для повышения качественных и

функциональных характеристик в неконтролируемых условиях съемки мобильным устройством (неизвестны: освещение, геометрия сцены, камера и оптическое устройство) и ограниченности вычислительных возможностей самого мобильного устройства. Предложена новая схема построения такого типа систем, на основе алгоритмов компьютерного зрения.

2. Созданы первые в своем роде пакеты данных, которые позволяют объективно оценивать различные аспекты систем распознавания документов, удостоверяющих личность -- семейство пакетов данных MIDV (Mobile Identity Document Video): MIDV-500, MIDV-2019, MIDV-LAIT, MIDV-2020, DLC-2021, MIDV-Holo. Данное семейство состоит из видео и фото синтезированных и распечатанных документов, удостоверяющих личность, снятых в различных условиях. При этом впервые удалось не только создать репрезентативные пакеты данных, но и соблюсти все законодательные ограничения, что позволяет сделать результаты в данной области исследования публичными и проверяемыми. В созданных пакетах данных впервые представлены изображения, видеопоследовательности и соответствующая разметка, предназначенные для оценки алгоритмов проверки подлинности документов и обнаружения атак на предъявление документов. Для обучения распознаванию символов в задаче распознавания документов на фотографиях и видеопотоке предложена оригинальная система сбора и разметки обучающих выборок. Для задачи поиска печати предложена оригинальная система аугментации и показано, что предложенный подход позволяет получать высококачественные детекторы печатей.

3. Предложено и обосновано использование видеопотока как формы входных данных для системы распознавания документов, позволяющее повысить качество распознавания. Предложены и проанализированы модели с различными стратегиями комбинирования результатов распознавания. Исследованы методы на основе выбора лучшего изображения, выбор лучшего результата распознавания и ансамблирования результатов распознавания. Экспериментально показано, что в условиях съемки, близких к идеальным, наилучшие результаты комбинирования дает выбор лучшего кадра с помощью оценки фокуса, а метод ROVER дает лучший результат в условиях помех.

4. Построены новые вероятностные модели, описывающие результаты распознавания символов текстовых полей документов в видеопоследовательности. Введено понятие потока результатов распознавания. Рассмотренные модели предполагают, что результат распознавания знакоместа в поле документа можно представить в виде композиции случайных величин и случайных векторов. Проведены проверки, которые подтвердили адекватность вероятностных моделей.

Полученные при моделировании потока результатов распознавания параметры можно использовать для комбинирования результатов классификации одиночных символов, решая тем самым задачу распознавания объекта в видеопотоке.

5. Рассмотрена проблема останова распознавания документа, возникающая при использовании видеопотока. Для ее решения предложены и проанализированы методы на основе анализа популяций и на основе моделирования следующего комбинированного результата распознавания. Экспериментально показано, что метод, основанный на моделировании следующего комбинированного результата, превосходит остальные, но требует дополнительных вычислений, связанных с расчетом следующего результата.

6. Рассмотрены проблемы производительности систем распознавания видеопотока и предложены новые методы эффективной реализации алгоритмов, активно применяющихся для современных процессоров, используемых в мобильных устройствах. Предложены алгоритмы, использующие инструкции ARM NEON для эффективного транспонирования матриц, повышающие скорость в 5,7–12 раз в зависимости от размера матриц, и алгоритм эффективной реализации морфологической фильтрации изображений.

7. На основе предложенных подходов были разработаны прикладные программные средства для распознавания документов, удостоверяющих личность, Smart IDReader и Smart ID Engine. Программные средства позволяют проводить распознавание документов в видеопотоке, фотографии, изображении, полученным с использованием обычного или специального сканера, на мобильном устройстве и обычном компьютере в реальном времени. При распознавании видеопотока используются предложенные в алгоритмы комбинирования результатов распознавания и принятия решения об остановке. Проведена оценка производительности системы распознавания на мобильных вычислительных устройствах и процессорах с широким командным словом семейства Эльбрус.

8. Smart IDReader и Smart ID Engine активно применяются в мобильных и серверных приложениях ряда российских государственных и коммерческих организаций: ФНС, МВД, РЖД, Банк Тинькофф, Альфабанк, Банк Открытие, Газпромбанк, МТС, Beeline, МегаФон, что подтверждено актами о внедрении. Разработанные программные системы также являются частью паспортно-визовой системы ГС МИР. В рамках работы по диссертации было получено 2 патента США, 5 патентов на изобретение РФ, 16 патентов на полезные модели и 4 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

ПУБЛИКАЦИИ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях из списка ВАК РФ

1. Arlazarov V. L., Arlazarov V. V., Bulatov K. B., Chernov T. S., Nikolaev D. P., Polevoy D. V., Sheshkus A. V., Skoryukina N. S., Slavin O. A., Usilin S. A. Mobile ID Document Recognition-Coarse-to-Fine Approach // Pattern Recognit. Image Anal.. — 2022. — Vol. 32. — No 1. — P. 89-108. — DOI: 10.1134/S1054661822010023. (БАК, WoS, Scopus Q3)
2. Bulatov K. B., Bezmaternykh P. V., Nikolaev D. P., Arlazarov V. V. Towards a unified framework for identity documents analysis and recognition // Компьютерная оптика. — 2022. — Т. 46. — № 3. — С. 436-454. — DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1024. (БАК, WoS, Scopus Q1)
3. Bulatov K. B., Emelyanova E. V., Tropin D. V., Skoryukina N. S., Chernyshova Y. S., Sheshkus A. V., Usilin S. A., Ming Z., Burie J., Luqman M., Arlazarov V. V. MIDV-2020: A Comprehensive Benchmark Dataset for Identity Document Analysis // Компьютерная оптика. — 2022. — Т. 46. — № 2. — С. 252-270. — DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1006. (БАК, WoS, Scopus Q1)
4. Arlazarov V. V., Andreeva E. I., Bulatov K. B., Nikolaev D. P., Petrova O. O., Savelev B. I., Slavin O. A. Document image analysis and recognition: A survey // Компьютерная оптика. — 2022. — Т. 46. — № 4. — С. 567-589. — DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1020. (БАК, WoS, Scopus Q1)
5. Gayer A. V., Ershova D. M., Arlazarov V. V. Fast and accurate deep learning model for stamps detection for embedded devices // Pattern Recognit. Image Anal.. — 2022. — Vol. 32. — No 4. — P. 772-779. — DOI: 10.1134/S1054661822040046. (БАК, WoS, Scopus Q3)
6. Арлазаров В. В. Проблемы и особенности 2D, 3D и 4D-систем распознавания документов, удостоверяющих личность // Труды ИСА РАН. — 2022. — Т. 72. — № 3. — С. 3-9. — DOI: 10.14357/20790279220301. (БАК)
7. Арлазаров В. В. Ключевые этапы обработки шаблона документа современных систем распознавания ID-карт // Труды ИСА РАН. — 2022. — Т. 72. — № 3. — С. 19-25. — DOI: 10.14357/20790279220303. (БАК)
8. Арлазаров В. В. Анализ использования проблемно-ориентированных пакетов данных в научных исследованиях // ИТиВС. — 2022. — № 3. — С. 10-23. — DOI: 10.14357/20718632220302. (БАК)
9. Арлазаров В. В. Методы комбинирования множественных результатов распознавания текста // Искусственный интеллект и принятие решений. — 2022. — № 3. — С. 106-116. — DOI: 10.14357/20718594220309. (БАК)
10. Arlazarov V. V., Chuiko A. V., Slavin O. A. A Model for Assessing the Reliability of Document Text Field Recognition // ИТиВС. — 2022. — № 4. — С. 3-12. — DOI: 10.14357/20718632220401. (БАК)
11. Petrova O. O., Bulatov K. B., Arlazarov V. V., Arlazarov V. L. Weighted combination of per-frame recognition results for text recognition in a video stream // Компьютерная оптика. — 2021. — Т. 45. — № 1. — С. 77-89. — DOI: 10.18287/2412-6179-CO-795. (БАК, WoS, Scopus Q1)
12. Arlazarov V. V., Voysyat J. S., Matalov D. P., Nikolaev D. P., Usilin S. A. Evolution of the Viola-Jones object detection method: a survey // Вестник ЮУрГУ ММП. — 2021. — Т. 14. — № 4. — С. 5-23. — DOI: 10.14529/mmp210401. (БАК, WoS, Scopus Q3)

13. Bulatov K. B., Savelyev B. I., Arlazarov V. V., Fedotova N. V. Analysis of a stopping method for text recognition in video stream using an extended result model with per-character alternatives // Сенсорные системы. — 2020. — Т. 34. — № 3. — С. 217-225. — DOI: 10.31857/S0235009220030026. (БАК)

14. Лимонова Е. Е., Бочаров Н. А., Парамонов Н. Б., Богданов Д. С., Арлазаров В. В., Славин О. А., Николаев Д. П. Оценка быстродействия системы распознавания на VLIW архитектуре на примере платформы Эльбрус // Программирование. — 2019. — № 1. — С. 15-21. — DOI: 10.1134/S0132347419010047. (БАК, WoS Q4, Scopus Q4)

15. Arlazarov V. V., Bulatov K., Chernov T., Arlazarov V. L. MIDV-500: A Dataset for Identity Document Analysis and Recognition on Mobile Devices in Video Stream // Компьютерная оптика. — 2019. — Т. 43. — № 5. — С. 818-824. — DOI: 10.18287/2412-6179-2019-43-5-818-824. (БАК, WoS, Scopus Q1)

16. Arlazarov V. V., Slavin O. A., Uskov A. V., Janiszewski I. M. Modelling the flow of character recognition results in video stream // Вестник ЮурГУ ММП. — 2018. — Т. 11. — № 2. — С. 14-28. — DOI: 10.14529/mmp180202. (БАК, WoS, Scopus Q3)

17. Арлазаров В. В., Булатов К. Б., Усков А. В. Модель системы распознавания объектов в видеопотоке мобильного устройства // Труды ИСА РАН. — 2018. — Т. 68. — Спецвыпуск № S1. — С. 73-82. — DOI: 10.14357/20790279180508. (БАК)

18. Арлазаров В. В., Маталов Д. П., Усилин С. А. Локализация образа печати на документе, удостоверяющем личность, методом машинного обучения // Труды ИСА РАН. — 2018. — Т. 68. — Спецвыпуск № S1. — С. 158-166. — DOI: 10.14357/20790279180518. (БАК)

19. Слугин Д. Г., Арлазаров В. В. Поиск текстовых полей документа с помощью методов обработки изображений // Труды ИСА РАН. — 2017. — Т. 67. — № 4. — С. 65-73. (БАК)

20. Чернов Т. С., Разумный Н. П., Кожаринов А. С., Николаев Д. П., Арлазаров В. В. Оценка качества входных изображений в системах распознавания видеопотока // ИТиВС. — 2017. — № 4. — С. 71-82. (БАК)

В изданиях, входящих в базы цитирования Scopus и Web of Science

21. Polevoy D. V., Sigareva I. V., Ershova D. M., Arlazarov V. V., Nikolaev D. P., Zuheng M., Muhammad M. L., Burie J. Document Liveness Challenge dataset (DLC-2021) // J. Imaging. — 2022. — Vol. 8. — No 7. — P. 181-1-181-12. — DOI: 10.3390/jimaging8070181. (WoS, Scopus Q2)

22. Matalov D. P., Limonova E. E., Skoryukina N. S., Arlazarov V. V. Memory efficient local features descriptor for identity document detection on mobile and embedded devices // IEEE Access. — 2022. — Vol. 11. — P. 1104-1114. — DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3233463. (WoS Q2, Scopus Q1)

23. Y Shemyakina Y. A., Limonova E. E., Skoryukina N. S., Arlazarov V. V., Nikolaev D. P. A method of image quality assessment for text recognition on camera-captured and projectively distorted documents // Mathematics. — 2021. — Vol. 9. — No 17. — P. 1-22. — DOI: 10.3390/math9172155. (WoS Q1, Scopus Q1)

24. Chernyshova Y. S., Sheshkus A. V., Arlazarov V. V. Two-step CNN framework for text line recognition in camera-captured images // IEEE Access. — 2020. — Vol. 8. — P. 32587-32600. — DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2974051. (WoS Q1, Scopus Q1)

В сборниках трудов профильных международных конференций

25. Bulatov K. B., Fedotova N. V., Arlazarov V. V. Fast Approximate Modelling of the Next Combination Result for Stopping the Text Field Recognition in a Video Stream // ICPR

2020 / Manhattan, New York, U.S: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). — 2021. — ISSN 1051-4651. — ISBN 978-17-28188-09-6. — P. 239-246. — DOI: 10.1109/ICPR48806.2021.9412574. (WoS, Scopus)

26. Kondrashev I. V., Sheshkus A. V., Arlazarov V. V. Distance-based online pairs generation method for metric networks training // ICMV 2020 / Bellingham, Washington 98227-0010 USA: Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE). — 2021. — Vol. 11605. — ISSN 0277-786X. — ISBN 978-15-10640-40-5. — 2021. — Vol. 11605. — P. 1160508-1-1160508-6. — DOI: 10.1117/12.2587175. (WoS, Scopus)

27. Skoryukina N. S., Arlazarov V. V., Milovzorov A. N. Memory Consumption Reduction for Identity Document Classification with Local and Global Features Combination // ICMV 2020 / Bellingham, Washington 98227-0010 USA: Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE). — 2021. — Vol. 11605. — ISSN 0277-786X. — ISBN 978-15-10640-40-5. — 2021. — Vol. 11605. — 116051G. — C. 116051G1-116051G8. — DOI: 10.1117/12.2587033. (WoS, Scopus)

28. Matalov D. P., Limonova E. E., Skoryukina N. S., Arlazarov V. V. RFDoc: memory efficient local descriptors for ID documents localization and classification // ICDAR 2021. — 2 изд. / Josep Lladós, Daniel Lopresti, Seiichi Uchida. — London, UK (main office): Springer Nature Group. — (Lecture Notes in Computer Science (LNCS)). — 2021. — Vol. 12822. — ISSN 0302-9743. — ISBN 978-3-03086-330-2. — 2021. — Vol. 12822. — P. 209-224. — DOI: 10.1007/978-3-030-86331-9_14. (Scopus)

29. Bulatov K. B., Arlazarov V. V. Determining optimal frame processing strategies for real-time document recognition systems // ICDAR 2021. — 2nd ed. / Josep Lladós, Daniel Lopresti, Seiichi Uchida. — London, UK (main office): Springer Nature Group. — (Lecture Notes in Computer Science (LNCS)). — 2021. — Vol. 12822. — ISSN 0302-9743. — ISBN 978-3-03086-330-2. — 2021. — Vol. 12822. — P. 273-288. — DOI: 10.1007/978-3-030-86331-9_18. (Scopus)

30. Chernyshova Y. S., Emelianova E. V., Sheshkus A. V., Arlazarov V. V. MIDV-LAIT: a challenging dataset for recognition of IDs with Perso-Arabic, Thai, and Indian scripts // ICDAR 2021. — 2nd ed. / Josep Lladós, Daniel Lopresti, Seiichi Uchida. — London, UK (main office): Springer Nature Group. — (Lecture Notes in Computer Science (LNCS)). — 2021. — Vol. 12822. — ISSN 0302-9743. — ISBN 978-3-03086-330-2. — 2021. — Vol. 12822. — P. 258-272. — DOI: 10.1007/978-3-030-86331-9_17. (Scopus)

31. Skoryukina N., Arlazarov V. V., Nikolaev D. P. Fast method of ID documents location and type identification for mobile and server application // ICDAR 2019 / Manhattan, New York, U.S.: The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). — 2020. — ISSN 2379-2140. — ISBN 978-17-28130-14-9. — P. 850-857. — DOI: 10.1109/ICDAR.2019.00141. (WoS, Scopus)

32. Matalov D. P., Usilin S. A., Arlazarov V. V. Single-sample augmentation framework for training Viola-Jones classifiers // ICMV 2019 / Wolfgang Osten, Dmitry Nikolaev, Jianhong Zhou. — Bellingham, Washington 98227-0010 USA: Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE). — 2020. — Vol. 11433. — ISSN 0277-786X. — ISBN 978-15-10636-44-6. — 2020. — Vol. 11433. — C. 114330I1-114330I8. — DOI: 10.1117/12.2559435. (WoS, Scopus)

33. Bulatov K., Matalov D., Arlazarov V. V. MIDV-2019: Challenges of the Modern Mobile-Based Document OCR // ICMV 2019 / Wolfgang Osten, Dmitry Nikolaev, Jianhong Zhou. — Bellingham, Washington 98227-0010 USA: Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE). — 2020. — Vol. 11433. — ISSN 0277-786X. — ISBN 978-15-10636-44-6.

— 2020. — Vol. 11433. — P. 114332N1-114332N6. — DOI: 10.1117/12.2558438. (WoS, Scopus)

34. Matalov D. P., Usilin S. A., Arlazarov V. V. Modification of the Viola-Jones approach for the detection of the government seal stamp of the Russian Federation // ICMV 2018 / Bellingham, Washington 98227-0010 USA: Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE). — 2019. — Vol. 11041. — ISSN 0277-786X. — ISBN 978-15-10627-48-2. — 2019. — Vol. 11041. — P. 110411Y1-110411Y7. — DOI: 10.1117/12.2522793. (WoS, Scopus)

35. Andreeva E., Arlazarov V. V., Slavin O., Janiszewski I. Experimental modeling the flow of character recognition results in video stream for document recognition // ICMV 2018 / Bellingham, Washington 98227-0010 USA: Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE). — 2019. — Vol. 11041. — ISSN 0277-786X. — ISBN 978-15-10627-48-2. — 2019. — Vol. 11041. — P. 110411L1-110411L6. — DOI: 10.1117/12.2522970. (WoS, Scopus)

36. Bulatov K., Razumnyi N., Arlazarov V. V. On optimal stopping strategies for text recognition in a video stream as an application of a monotone sequential decision model // IJDAR. — 2019. — Vol. 22. — No 3. — P. 303-314. — DOI: 10.1007/s10032-019-00333-0. (WoS Q2, Scopus Q2)

37. Arlazarov V. V., Bulatov K., Manzhikov T., Slavin O. A., Janiszewski I. Method of determining the necessary number of observations for video stream documents recognition // ICMV 2017 / Antanas Verikas, Petia Radeva, Dmitry Nikolaev, Jianhong Zhou. — Bellingham, Washington 98227-0010 USA: Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE). — 2018. — Vol. 10696. — 758 p. — ISBN 978-15-10619-41-8. — 2018. — Vol. 10696. — P. 106961X1-106961X6. — DOI: 10.1117/12.2310132. (WoS, Scopus)

38. Chernov T. S., Razumnuy N. P., Kozharinov A. S., Nikolaev D. P., Arlazarov V. V. Image quality assessment for video stream recognition systems // ICMV 2017 / Antanas Verikas, Petia Radeva, Dmitry Nikolaev, Jianhong Zhou. — Bellingham, Washington 98227-0010 USA: Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE). — 2018. — Vol. 10696. — 758 p. — ISBN 978-15-10619-41-8. — 2018. — Vol. 10696. — P. 106961U1-106961U8. — DOI: 10.1117/12.2309628. (WoS, Scopus)

39. Bulatov K., Arlazarov V. V., Chernov T., Slavin O., Nikolaev D. Smart IDReader: Document Recognition in Video Stream // ICDAR 2017 / Manhattan, New York, U.S.: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. (IEEE). — ISSN 2379-2140. — ISBN 978-15-38635-86-5. — 2017. — Vol. 6. — P. 39-44. — DOI: 10.1109/ICDAR.2017.347. (WoS, Scopus)

40. Limonova E., Terekhin A., Nikolaev D., Arlazarov V. Fast Implementation of Morphological Filtering Using ARM NEON Extension // IJAER. — 2016. — Vol. 11. — No 24. — P. 11675-11680. (Scopus)

Список патентов, полезных моделей, и программ ЭВМ

41. Patent No.: US20220067363A1. Efficient Location and Identification of Documents in Images / Skoryukina N.S., Arlazarov V.V., Nikolaev D. P., Faradjev I.A.

42. Patent No.: US10354142B2. Method for holographic elements detection in video stream / Arlazarov V. V., Chernov T. S., Nikolaev D. P., Skoryukina N. S., Slavin O. A.

43. Пат. № 2771005 РФ. Способ детектирования голографической защиты на документах в видеопотоке / В.В. Арлазаров, Л. И. Коляскина, Д.П. Николаев, Д.В. Полевой, Д.В. Тропин, С.А. Усилин.

44. Пат. 2774058 № РФ. Способ определения (распознавания) факта предъявления цифровой копии документа в виде пересъемки экрана / В.В. Арлазаров, Д.П. Николаев,

Д.В. Полевой, Д.Г. Слугин, И. А. Кунина, И. В. Сигарева. Заявка № 2021128626. Дата регистрации 14.06.2022, Бюл. № 17

45. Пат. № 2750395 РФ. Способ оценки действительности документа при помощи оптического распознавания текста на изображении круглого оттиска печати/штампа на цифровом изображении документа / М. А. Алиев, В. В. Арлазаров, Д. П. Маталов, Д. П. Николаев, Д. В. Полевой, С. А. Усилин; № 2020127688 заявл. 19.08.2020; опублик. 28.06.2021, Бюл. № 19 — 10 с.

46. Пат. № 2724967 РФ. Система дистанционного приобретения билетов на культурно-массовые мероприятия с использованием распознавания на мобильном устройстве / В. В. Арлазаров, Н. В. Арлазаров, Д. П. Николаев, О. А. Славин, С. А. Усилин, А. В. Шешкус; № 220110146 заявл. 11.03.2020; опублик. 29.06.2020, Бюл. № 19 — 10 с.

47. Пат. № 2643130 РФ. Автоматизированное рабочее место контроля паспортных документов / В.В. Арлазаров, А.П. Гладков, Д.П. Николаев, С.А. Усилин; № 2017105336; заявл. 20.02.2017; опублик. 30.01.2018, Бюл. № 4 — 13 с.

48. Пат. на ПМ № 210539 РФ. Система дистанционной регистрации граждан на избирательном участке с распознаванием паспорта РФ / Арлазаров В. В., Арлазаров Н. В., Булатов К. Б., Славин О. А., Усилин С. А., 2021136611; заявлено 10.12.2021; — 2 с.

49. Пат. на ПМ № 210845. Система контроля соблюдения санитарно-эпидемиологических правил при дистанционной продаже билетов на транспорт при помощи мобильных устройств / Арлазаров В. В., Арлазаров Н. В., Безматерных П. В., Булатов К. Б., Полевой Д. В., Славин О. А., 2022100687; заявлено 12.01.2022; — 2 с.

50. Пат. на ПМ № 210846 РФ. Система предотвращения атаки на предъявление дистанционного скоринга клиентов при выдаче кредитов с помощью мобильного устройства / Арлазаров В. В., Арлазаров Н. В., Безматерных П. В., Булатов К. Б., Кунина И. А., Маталов Д. П., Тропин Д. В., Усилин С. А., 2022102438 заявлено; 01.02.2022 — 2 с.

51. Пат. на ПМ № 210919 РФ. Система контроля соблюдения правил дистанционной торговли рецептурными препаратами (лекарствами) при помощи мобильного устройства / Арлазаров В. В., Арлазаров Н. В., Лимонова Е. Е., Маталов Д. П., Полевой Д. В., Тропин Д. В., 2022101508; заявлено 24.01.2022; — 2 с.

52. Пат. на ПМ № 211342 РФ. Система дистанционного опроса граждан при переписи населения с распознаванием электронного паспорта РФ на пластиковой карте / Арлазаров В. В., Арлазаров Н. В., Маталов Д. П., Славин О. А., Шешкус А. В., 2021135025; заявлено 29.11.2021; — 2 с.

53. Пат. на ПМ № 204787 РФ. Система удаленной регистрации абонентов сети связи с использованием мобильного устройства / Безматерных П. В., Арлазаров В. В., Арлазаров Н. В., Скорюкина Н. С., Славин О. А., № 2021100924; заявлено 18.01.2021; опублик. 10.06.2021, Бюл. № 16 — 2 с.

54. Пат. на ПМ № 204371 РФ. Система автоматического подтверждения отсутствия признаков инфекционного заболевания с помощью документального свидетельства / Арлазаров В. В., Арлазаров Н. В., Булатов К. Б., Славин О. А., № 2021103918; заявлено 24.03.2021; опублик. 21.05.2021, Бюл. № 15 — 2 с.

55. Пат. на ПМ № 207759 РФ. Система проверки подлинности паспортно-визовых документов с использованием мобильного устройства / Арлазаров В. В., Арлазаров Н. В., Усилин С. А., 2021125026; заявлено 23.08.2021; опублик. 15.11.2021, Бюл. № 32 — 2 с.

56. Пат. на ПМ № 196455 РФ. Система удаленной регистрации данных граждан на избирательном участке с использованием мобильного устройства / Арлазаров В. В., Пат.

№ 196455 РФ. Арлазаров Н. В., Булатов К. Б., Шешкус А. В., № 2019141280; заявл. 13.12.2019; опубл. 02.03.2020; Бюл. № 7 — 2 с.

57. Пат. на ПМ № 191682. Система покупки цифрового контента с использованием мобильного устройства / Арлазаров В. В., Арлазаров Н. В., Булатов К. Б., Скорюкина Н. С., Николаев Д. П.; № 2019116550; заявл. 29.05.2019; опубл. 15.08.2019; Бюл. № 23 — 2 с.

58. Пат. на ПМ № 180207 РФ. Система автоматического контроля личности избирателя / В. В. Арлазаров, Н.В. Арлазаров, К. Б. Булатов, Н. С. Скорюкина, О.А. Славин, Т.С. Чернов; № 2017139215; заявл. 13.11.2017; опубл. 06.06.2018, Бюл. № 16 — 2 с.

59. Пат. на ПМ № 161478 РФ. Система доступа к дистанционному получению банковских услуг / В.В. Арлазаров, А.Р. Арлазарова, Н.В. Арлазаров, Д.П. Николаев, О.А. Славин, С.А. Усилин, А.В. Шешкус; № 2015156508/08; заявл. 29.12.2015; опубл. 20.04.2016, Бюл. № 11 — 3 с.

60. Пат. на ПМ № 159733 РФ. Система распознавания документов в видеопоследовательности / В.В. Арлазаров, В.Л. Арлазаров, К.Б. Булатов, Д.П. Николаев, Д.В.Полевой, О.А. Славин; № 2015145155; заявл. 21.10.2015; опубл. 20.02.2016, Бюл. № 5 — 3 с.

61. Пат. на ПМ № 166152 РФ. Автономное автоматизированное рабочее место контроля паспортных документов / В.В. Арлазаров, А.П. Гладков, Д.П. Николаев, С.А. Усилин; 2016122432/08; заявл. 07.07.2016; опубл. 20.11.2016, Бюл. № 32 — 2 с.

62. Пат. на ПМ № 163168 РФ. Технологическая платформа электронного документооборота осмотра автомобиля для оформления страховки / В.В. Арлазаров, А.Р. Арлазарова, О.А. Славин, С.А. Усилин; № 2015148236; заявл. 10.11.2015; опубл. 10.07.2016, Бюл. № 12 — 4 с.

63. Пат. на ПМ № 166038 РФ. Автоматизированное рабочее место контроля паспортных документов / В.В. Арлазаров, А.П. Гладков, Д.П. Николаев, С.А. Усилин; 2016106183/08; заявл. 25.02.2016; опубл. 10.11.2016, Бюл. № 31 — 2 с.

64. Программа точной локализации и типизации объекта страницы документа в видеопотоке: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019665480 / Арлазаров В.В., Янишевский И.М., № 2019664400; заявл. 13.11.2019; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 22.11.2019. — [1] с. ЭВМ № RU2019665480

65. Программа распознавания признаков подлинности “Smart Document Forensics”: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018615343 / Усилин С.А., Арлазаров В.В., Алиев М.В., Маталов Д.П. , № 2018612851; заявл. 23.03.2018; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 07.05.2018. — [1] с.

66. Программа поиска плоских ригидных объектов “Smart ARTour”: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018615952 / Арлазаров В.В., Булатов К.Б., Николаев Д.П., Скорюкина Н.С., № 2018612805; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 18.05.2018. — [1] с.

67. Программа для распознавания идентификационных карт личности “Smart IDReader”: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016616961 / Арлазаров В.В., Николаев Д.П., Усилин С.А., Булатов К.Б., Чернов Т.С., Слугин Д.Г., Ильин Д.А., Безматерных П.В., Муковозов А.А., Лимонова Е. Е., № 2016612014; заявл. 10.03.2016; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 22.06.2016. — [1] с.