

На правах рукописи



Одиноких Глеб Андреевич

**Методы и алгоритмы биометрического  
распознавания человека по радужной оболочке  
глаза на мобильном устройстве**

05.13.17 – Теоретические основы информатики

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2019

Работа выполнена в *Федеральном исследовательском центре «Информатика и Управление» Российской академии наук (ФИЦ ИУ РАН)*.

**Научный руководитель:** **Матвеев Иван Алексеевич**

доктор технических наук, главный научный сотрудник отдела № 31 Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Официальные оппоненты:** **Гостев Иван Михайлович**

доктор технических наук, профессор ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

**Трёкин Алексей Николаевич**

кандидат технических наук, научный сотрудник «Центра по научным и инженерным вычислительным технологиям для задач с большими массивами данных» Сколковского института науки и технологий

**Ведущая организация:** ФГБОУ ВО «Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова»

Защита состоится «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г. в \_\_\_\_ часов на заседании диссертационного совета Д 002.073.05 при Федеральном исследовательском центре «Информатика и управление» Российской академии наук (ФИЦ ИУ РАН) по адресу 119333, г. Москва, ул. Вавилова, д. 40.

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

Автореферат разослан «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 002.073.05,

д.ф.-м.н., профессор



Рязанов В.В.

## Актуальность работы

Подтверждение личности является обязательным условием для проведения многих операций, совершаемых человеком ежедневно. Большую часть составляют финансовые транзакции, использование различных сервисов, предоставление услуг, контроль доступа на объект или к персональному устройству. Множество транзакций производится при помощи мобильных устройств. По данным World Payments Report от 2017 года в период с 2015-2019 гг. ожидаемый рост доли платежных транзакций, осуществляемых с их помощью, составит 21.8%, и 32% в период 2017-2022 гг. Помимо этого, существует устойчивый тренд к персонификации и интеллектуализации сервисов и услуг. Многие приложения подразумевают наличие функции автоматической аутентификации или идентификации пользователя.

Развитие методов компьютерного зрения, распознавания образов, машинного обучения, а также регистрации цифровых изображений позволили совершить значительный рывок в области биометрической идентификации личности. Биометрические системы, использующие изображение радужной оболочки глаза в качестве идентификатора, позволяют достичь наивысшей точности распознавания в классе неинвазивных методов.

Мобильные приложения биометрии подразумевают удобство их использования, быстродействие и устойчивость к изменчивости биометрической характеристики человека (БХЧ) и окружения. Система должна извлекать БХЧ из изображения низкого качества и обрабатывать его в режиме реального времени на устройстве с существенно ограниченными вычислительными ресурсами, обеспечивая при этом низкие значения ошибок распознавания. Обязательны также наличие обратной связи с пользователем и система защиты от подделки.

Таким образом, новые аппаратные и программные возможности позволяют реализовывать новые сценарии биометрического распознавания. Для их реализации требуются новые методы и алгоритмы, способные удовлетворять задан-

ным требованиям, создание которых позволит существенно повысить уровень безопасности и удобства транзакций, ежедневно осуществляемых множеством людей по всему миру.

## Цель работы

Целью работы является создание методов и алгоритмов для автоматического распознавания человека по радужной оболочке глаза на мобильном устройстве, способных обеспечивать высокую точность распознавания, обратную связь с пользователем и устойчивую защиту от подделывания.

## Основные задачи

В процессе работы были поставлены и решены следующие задачи:

1. Исследование особенностей использования методов биометрического распознавания человека по радужной оболочке глаза в применении к мобильным устройствам и определение оснований требований, предъявляемых к таким методам.
2. Создание алгоритма распознавания человека по радужке, способного осуществлять оценку качества изображения, получаемого в сложных условиях, обеспечивать обратную связь с пользователем устройства, работать на мобильном устройстве в режиме реального времени и удовлетворять критериям ошибок распознавания: ложного недопуска  $FRR \leq 10^{-2}$  при значении ошибки ложного допуска  $FAR < 10^{-7}$ .
3. Разработка методов выделения области радужки и извлечения её уникальных особенностей из изображения низкого качества, получаемого в условиях постоянно изменяющегося окружения.

4. Создание методов и алгоритмов выявления подделок радужки по изображению низкого качества, способных обеспечивать защиту от, в том числе, ранее не рассматриваемых видов атак.

## **Методы исследований**

В работе использовались методы цифровой обработки изображений, анализа данных и машинного обучения.

## **Научная новизна**

1. Предложен новый высокопроизводительный метод распознавания человека по радужной оболочке глаза, способный работать на устройстве с низкой вычислительной мощностью в условиях изменяющегося окружения;
2. Предложен новый метод выделения области радужки на изображении низкого качества;
3. Разработан новый метод оценки качества изображения радужки, позволяющий оценить её пригодность для извлечения уникальных особенностей, обеспечивающий обратную связь с пользователем;
4. Разработан новый метод адаптивного квантования изображения радужки, устойчивый к искажениям текстуры;
5. Предложен новый метод извлечения и сравнения уникальных особенностей радужки, обеспечивающий высокую точность распознавания, устойчивый к изменению размера зрачка и условий окружения;
6. Разработан новый метод защиты от подделывания радужки, обеспечивающий защиту от, в том числе, ранее не рассматриваемых видов атак;

## **Теоретическая значимость**

Теоретическая значимость работы состоит в исследовании особенностей распознавания человека по радужке при помощи мобильного устройства, в представлении высокопроизводительных методов, реализующих основные части алгоритма распознавания, а также в рассмотрении новых видов подделок.

## **Практическая значимость**

Практическая значимость работы состоит в том, что результаты, изложенные в диссертации, используются в мобильных устройствах, выпускаемых компанией Samsung Electronics Co. Ltd. Среди устройств флагманские модели, выпускаемые компанией в период с 2016 по 2019 гг.: смартфон Samsung Galaxy Note7, смартфоны Samsung Galaxy S8/S8+, смартфон Samsung Galaxy Note8, смартфоны Samsung Galaxy S9/S9+, смартфон Samsung Galaxy Note9, планшет Samsung Galaxy Tab S4.

## **Положения, выносимые на защиту:**

1. Исследованы особенности использования методов биометрического распознавания человека по радужной оболочке глаза для мобильных устройств, сформулированы основные требования, предъявляемые к таким методам;
2. Разработан метод распознавания пользователя смартфона по изображению радужной оболочки глаза, собрана база данных изображений радужки, полученных в условиях, симулирующих реальное взаимодействие пользователя с устройством при распознавании, осуществлена программная реализация метода, произведено сравнение с аналогами, известными из литературы, по точности и скорости распознавания;
3. Предложен многостадийный метод оценки качества изображения радуж-

ки, получаемого при помощи мобильного устройства, позволяющий обеспечивать обратную связь с пользователем в виде отображения подсказок на экране устройства;

4. Исследованы методы выделения области радужки на изображении, получаемом в экстремальных условиях окружения, разработан и программно реализован метод, основанный на глубоком обучении, произведена его оценка и сравнение с известными из литературы аналогами;
5. Исследованы, разработаны и программно реализованы методы извлечения уникальных особенностей радужки по изображению, получаемому в сложных условиях, произведено сравнение методов с существующими аналогами по скорости обработки и точности распознавания;
6. Исследованы новые виды подделок радужки, собрана база данных подделок, предложен метод защиты от подделок, устойчивый к новым видам подделок, произведено его сравнение с известными из литературы методами по точности детектирования и скорости обработки.

## **Степень достоверности и апробация результатов**

Достоверность результатов обеспечивается обширным анализом работ в области исследования, описанием проведенных экспериментов, их воспроизводимостью, а также внедрением результатов в практическое использование. Основные результаты диссертации докладывались на следующих конференциях:

1. Всероссийская научная конференции «ЭКОМОД», 2016;
2. Международная конференция «Samsung Mobile Developers», 2016;
3. Международная конференция «Intelligent Data Processing», 2016;

4. Международная конференция «Workshop on Photogrammetric and computer vision techniques for video surveillance, biometrics and biomedicine», 2017;
5. Международная конференция «Intelligent Data Processing», 2018;
6. Международная конференция «International Conference on Pattern Recognition and Artificial Intelligence», 2018;
7. Международная конференция «12th IAPR International Conference On Biometrics», 2019.

## **Публикации и патенты**

Материалы диссертации опубликованы в 10 печатных работах, из них 3 в журналах из списка ВАК. По основным результатам работы было получено 4 патента на изобретения.

## **Личный вклад автора**

Содержание диссертации и основные положения, выносимые на защиту, отражают персональный вклад автора в опубликованные работы. Подготовка к публикации полученных результатов проводилась совместно с соавторами, причем вклад диссертанта был определяющим. Все представленные в диссертации результаты получены лично автором.

## **Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из введения, обзора литературы, пяти глав, заключения и библиографии. Общий объем диссертации 106 страниц, из них 88 страниц текста, включая 34 рисунков. Библиография включает 154 наименования на 17 страницах.

## Содержание работы

**Во введении** обоснована актуальность исследований, проводимых в рамках диссертационной работы, сформулирована цель и аргументирована научная новизна, отмечена теоретическая и практическая значимость полученных результатов, представлены выносимые на защиту научные положения.

**В первой главе** приводится обзор методов биометрического распознавания, дается определение биометрической характеристики человека (БХЧ). Рассматриваются базовые операции, производимые биометрической системой распознавания, приводится классификация БХЧ и их экспертная оценка по универсальности, уникальности, стабильности и собираемости. Радужная оболочка глаза рассмотрена в качестве объекта распознавания. Приводится общая схема распознавания по радужке от процедуры регистрации изображения принятия решения об идентичности/неидентичности пары радужек. Рассмотрены особенности использования радужки в качестве БХЧ при распознавании человека с мобильного устройства.

**Во второй главе** рассмотрены основные трудности, связанные с биометрическим распознаванием человека по радужной оболочке глаза при помощи мобильного устройства. Вводятся основные показатели, используемые для оценки производительности биометрической системы распознавания.

Предложена многостадийная структура алгоритма для автоматического распознавания, построенная с использованием промежуточных блоков оценки качества изображения. На приведённой схеме (Рис. 1), можно выделить два основных блока обработки (до буфера изображений и после). Операции первого блока начинаются с получения изображения и заканчиваются вычислением промежуточного показателя качества  $QM$  и помещением изображения в буфер. Операции второго блока начинаются с выбора из буфера изображения, для которого текущее значение  $QM$  является максимальным среди всех, находящихся в буфере, а заканчиваются выделением уникальных особенностей и построением

вектора признаков радужки.

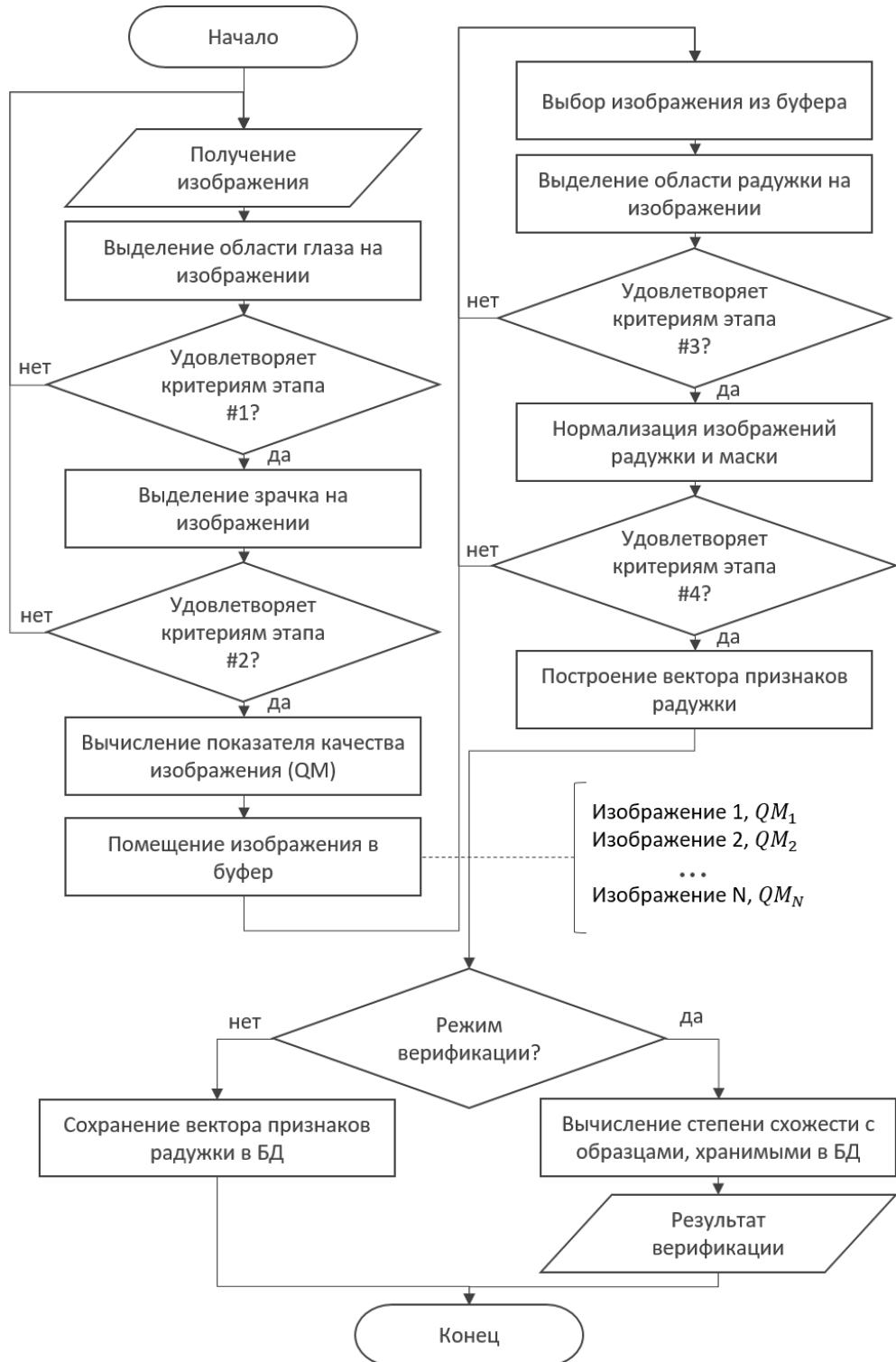


Рис. 1: Блок-схема алгоритма распознавания по радужке

Первый блок осуществляет обработку данных с частотой поступления кадров. Второй этап состоит из более вычислительно сложных операций. Обрабатываются только изображения из буфера.

В работе предлагается схема оценки качества изображения радужки для мобильного сценария. Оценка также позволяет поддерживать обратную связь не только с пользователем, но и с аппаратной частью устройства, обеспечивая корректировку параметров системы регистрации изображения, с целью получения кадров наилучшего качества. Отличительной особенностью метода является использование информации с дополнительных сенсоров, имеющихся в устройстве. Так, например, информация об уровне освещенности, данные с дальномера могут быть использованы для подстройки как параметров аппаратной части устройства, так и алгоритма. Таким образом реализуется связь между ключевыми компонентами биометрической системы: пользователем, аппаратной и программной частями устройства.

Оценка точности распознавания предложенного метода получена на наборе данных, собранном при помощи мобильного устройства, симулирующим реальное взаимодействие пользователя с устройством. Также рассмотрен случай распознавания в очках. Результаты представлены в Таб. 1. Результаты по скорости обработки данных показали возможность использования метода на мобильном устройстве.

Значение ошибки	Без очков	С очками
FTA/FTE	0.0685	0.07001
FMR	$10^{-7}$	$10^{-6}$
FNMR	0.01077	0.03912
EER	0.00128	0.00574

Таблица 1: Результаты по точности распознавания

Результаты второй главы опубликованы в работах [1, 6], а детальное описание основных подходов раскрывается в патентах [7–10].

**В третьей главе** рассмотрены особенности выделения области радужной оболочки глаза на изображениях, получаемых в сложных условиях окружения.

Приведён обзор и классификация существующих методов, обозначены их основные преимущества и недостатки. Рассмотрены новые методы, построенные с использованием методов глубокого обучения, выделены их основные преимущества, подчёркнуты перспективы использования и развития. Предложены и протестированы две новые архитектуры сверточных нейронных сетей. За основу были взяты FCN и SegNet, реализованные по схеме энкодер-декодер. Предложена новая структура основных блоков, из которых состоят обе архитектуры. В качестве энкодеров для модифицированных FCN-М и SegNet-М были взяты модели ResNet-26 и ResNet-18 соответственно. В качестве декодера для обеих архитектур использованы симметрично-отражённые модели энкодеров.

Экспериментальные результаты были получены на двух наборах данных: публично доступном CASIA-Iris-Lamp-V3 и его модификации. Особенность этой БД в том, что в ней представлены изображения, полученные в осложнённых, изменяющихся условиях окружения, позволяющие симулировать внутриклассовые отклонения: различные размеры зрачков, отвод взгляда, перепады яркости и др. Целью второго эксперимента была симуляция еще более значительных изменения окружения. С этой целью над исходным набором обучающих данных была произведена операция аугментации. Для этого над каждым изображением в обучающей выборке были выполнены следующие операции: значение контраста  $C$  изменялось случайным образом в диапазоне  $[50\%, 150\%]$ , случайное значение в диапазоне  $[-20\%, 20\%]$  также присваивалось интенсивности каждого пикселя. Для оценки качества сегментации был выбран коэффициент Жаккара (Jaccard Index, IoU - intersection over Union, [1](#)).

$$J(I_{pr}, I_{gt}) = \frac{|I_{pr} \cap I_{gt}|}{|I_{pr} \cup I_{gt}|} = \frac{|I_{pr} \cap I_{gt}|}{|I_{pr}| + |I_{gt}| - |I_{pr} \cap I_{gt}|}, \quad (1)$$

где  $I_{pr}$  и  $I_{gt}$  - множества пикселей, принадлежащих области радужки, предсказанных моделью и размеченными экспертом соответственно.

Результаты по точности сегментации отражены в Таб. [2](#), а примеры выде-

Модель	Исх. набор данных, IoU		Модиф. набор данных, IoU	
	val.	test	val.	test set
MFCN	0.918	0.919	0.668	0.676
FCN-M	0.930	0.930	0.884	0.894
SegNet-M	0.928	0.929	0.916	0.924

Таблица 2: Результаты по точности выделения области радужной оболочки глаза на изображении

ления областей радужки приведены на Рис. 2. Архитектура MFCN была взята за основу для сравнения. Производительность метода оценивалась на процессоре Qualcomm Snapdragon 835 (2.45 GHz) мобильного устройства. Медианное время выполнения составило 35 мсек. Алгоритмическая сложность метода, при условии фиксирования её параметров и добавления операции масштабирования на входе, линейна по размеру входных данных.

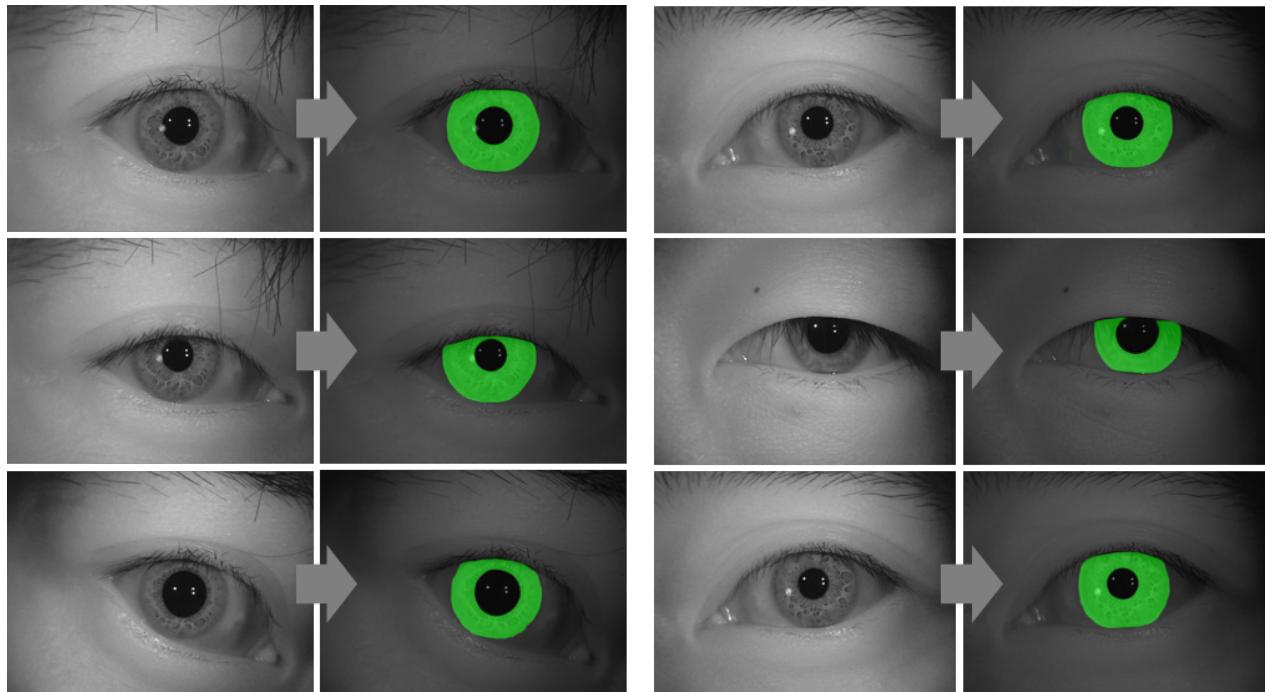


Рис. 2: Результаты выделения области радужки

Результаты третьей главы опубликованы в работе [3].

**Четвёртая глава** посвящена рассмотрению методов извлечения и срав-

нения уникальных особенностей радужки при распознавании в сложных условиях. Рассмотрены два основных подхода к задаче: использование вейвлетов и их модификаций, а также методов глубокого обучения. Предложены, протестированы и внедрены два разных метода:

- основанный на применении вейвлетов Габора с последующим адаптивным квантованием фазы, позволивший достичь большей устойчивости к искажениям текстуры радужки по сравнению с существующими методами;
- основанный на применении глубокого обучения с учётом специфических искажений радужки.

Исследована возможность использования низкоуровневых текстурных особенностей  $FV_{sh}$  в объединении с высокоуровневым представлением  $FV_{deep}$  (Таб. 3) и использование ядер свертки различного размера. Так же в работе исследована возможность применения вариационного вывода ( $VI$ ) для получения высокоуровневого представления в целях регуляризации. Результаты представлены в Таб. 3. В рамках подхода, основанного на применении свёрточной нейронной сети, предложен новый метод обучения, позволивший обеспечить лучшую сходимость модели и повысить точность распознавания.

$conv1$	$VI$	$FV_{sh}$	<b>EER</b>	<b>FNMR</b>	<b><math>d'</math></b>
$8 \times 3 \times 3$	да	да	0.0116	0.1925	4.3155
$8 \times 3 \times 3$	нет	да	0.0120	0.2027	4.2048
$8 \times 3 \times 3$	да	нет	0.0125	0.2085	4.1253
$8 \times 9 \times 9$	да	да	0.0134	0.1566	4.3034
$8 \times 9 \times 9$	да	нет	0.0172	0.1694	3.9850

Таблица 3: Оценка ошибок распознавания для различных модификаций модели

Для оценки точности распознавания были использованы три разных набора данных: доступные CASIA-Iris-M1-S2 (CMS2) и CASIA-Iris-M1-S3 (CM3), а

также Iris Mobile (IM), собранная в рамках исследования, учитывающая особенности использования мобильного устройства. Произведено сравнение с двумя известными из литературы аналогами: DeepIrisNet и FCN+ETL. Результаты по точности распознавания приведены в Таб. 4 и на Рис. 3.

Метод	CMS2	CMS3	IM	Testing
DeepIrisNet	0.0709	0.1199	0.1371	без переноса
FCN+ETL	0.0093	0.0301	0.0607	без переноса
Предложенный метод	0.0014	0.0190	0.0116	без переноса
	0.0003	0.0086	0.0116	с переносом

Таблица 4: Значения EER, полученные для методов на различных базах данных

Тестирование предложенного метода по скорости распознавания производилось на мобильном процессоре Qualcomm Snapdragon 835 CPU (2.45 GHz). Полное медианное время обработки составило 3-4 миллисекунды: 1-2 (мсек) для извлечения особенностей и столько же для из сравнения. Результаты четвёртой главы опубликованы в работах [4, 5].

**В пятой главе** рассмотрены особенности защиты от подделывания радужек в применении к распознаванию с мобильного устройства. Воспроизведены попытки взлома при помощи методов, использованных группами профессиональных взломщиков. Произведены классификация общих подходов к защите от подделывания, обзор существующих методов, их преимущества и недостатки. Рассмотрены ранее не исследовавшиеся виды подделок:

- изображение радужки, напечатанное на белой матовой бумаге с наложением прозрачных контактных линз;
- изображение радужки, напечатанное на белой матовой бумаге с нанесением прозрачного клея.

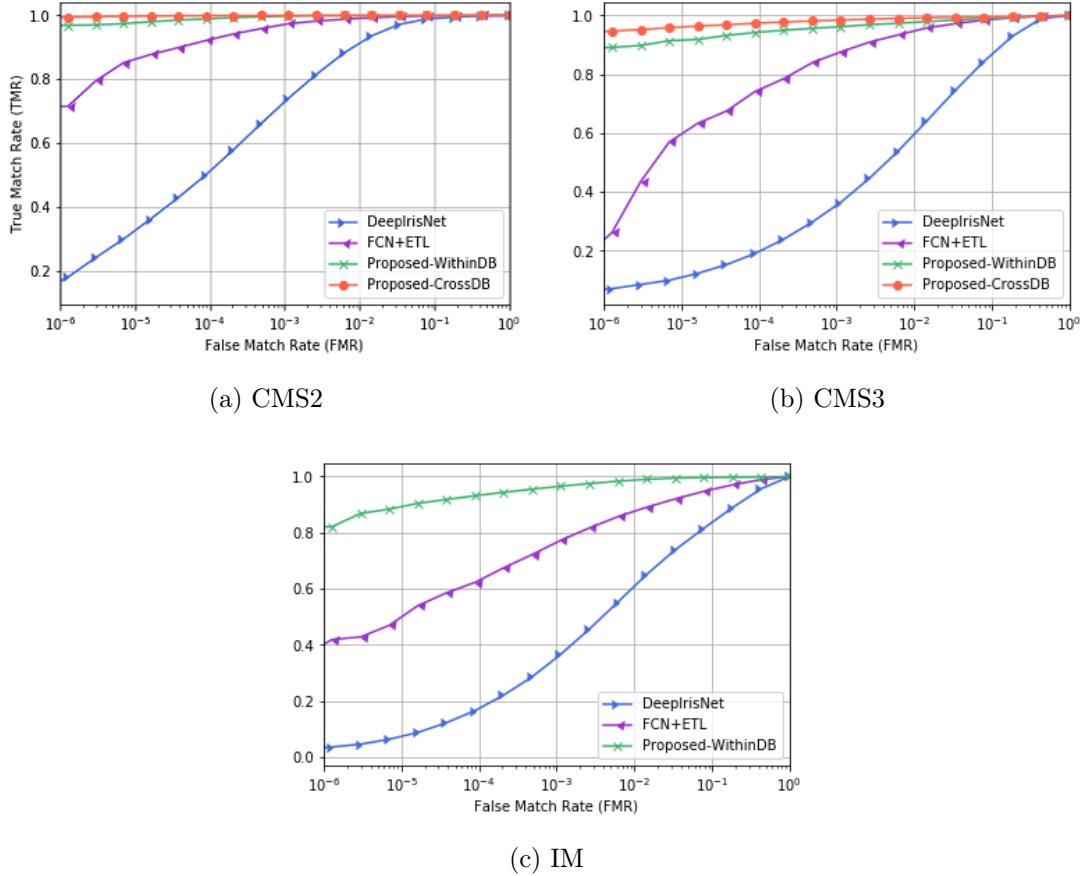


Рис. 3: ROC-кривые построенные по результатам тестирования сравниваемых методов на различных наборах данных

Собрана и обработана база данных изображений (более 36000) в том числе новых видов подделок при помощи мобильного устройства с учётом возможных изменений окружения. Разработан, протестирован и внедрён новый метод защиты от подделок, основанный на применении методов глубокого обучения, в частности, свёрточных нейронных сетей.

Входными данными модели является пара изображений области глаза  $I_{ER}$ , центрированная относительно центра радужки, и нормализованное изображение радужки  $I_{NI}$ , полученные из одного исходного изображения. Пара изображений подаётся на вход сверточным блокам  $CNNB_{ER}$  и  $CNNB_{NI}$  соответственно (Рис. 4). Блоки имеют схожую структуру, основными элементами которой являются структурные единицы архитектуры MobileNet, обозначенные как  $CNNB_{MN}$ . Выходом модели является вероятность принадлежности образца к

одному из двух классов: живая радужка или подделка.

Среди известных подходов: методы, в основе которых лежит частотный анализ (Czajka: 2013 и He: 2008); метод, построенный на LBP (Gupta: 2014) и BSIF (Raghavendra: 2015) дескрипторах; метод с использованием численных показателей качества изображения (Sequeira: 2014). Данные методы были выбраны как демонстрирующие наивысшую точность классификации на наборах данных изображений радужек, полученных в ближнем инфракрасном диапазоне.

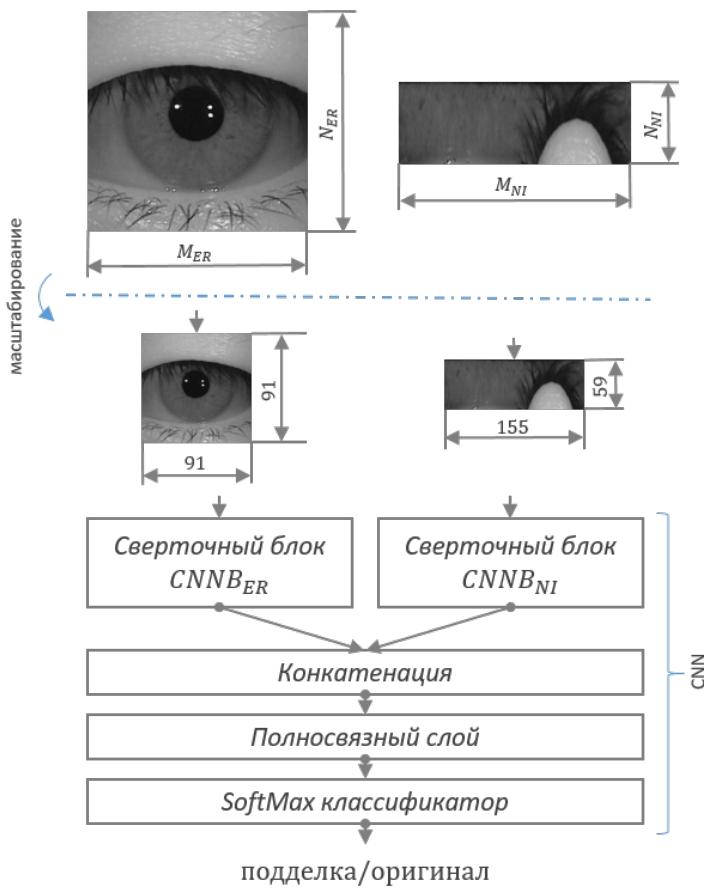


Рис. 4: Общая схема алгоритма защиты от подделывания радужки

Для оценивания точности распознавания были выбраны следующие показатели: *FerrLive* – доля изображений живых образцов, ошибочно классифицированных как подделки; *FerrFake* – доля изображений подделок, ошибочно классифицированных как живые; *CCR* (*correct classification rate*) – доля правильно классифицированных изображений на всем наборе данных. В Таб. 5 приведены

результаты тестирования известных из литературы и предложенного методов.

Method	FerrLive	FerrFake	CCR
Czajka	0.505	0.207	0.661
He	0.370	0.739	0.442
Gupta	0.294	0.251	0.749
Raghavendra	0.076	0.128	0.897
Sequeira	0.320	0.293	0.694
<b>Предложенный метод</b>	<b>0.048</b>	<b>0.034</b>	<b>0.959</b>

Таблица 5: Результаты по точности классификации живых радужек и подделок

Измерение скорости обработки данных для предложенного метода производилось на мобильном устройстве. Полное медианное время выполнения измерено на процессоре Qualcomm Snapdragon 835 CPU (2.45 GHz) и составило 5 миллисекунд. Измерения производились на одном ядре процессора.

Результаты пятой главы опубликованы в работе [2].

**В Заключении** представлены основные результаты работы:

1. Исследованы особенности применения метода биометрического распознавания по радужной оболочке глаза в приложениях мобильных устройств. Разработан, предложен и внедрён метод распознавания, пригодный для применения в мобильных устройствах;
2. Исследованы методы и алгоритмы оценки качества изображения радужки. Разработан и внедрён метод оценки качества для мобильных приложений, позволяющий оценивать пригодность изображения для извлечения признаков, обеспечивать обратную связь с пользователем устройства, производить управление параметрами системы регистрации изображения, учитывать и использовать данные с иных сенсоров устройства;
3. Разработаны, исследованы и внедрены методы (архитектуры) выделения

области радужки на изображении низкого качества с использованием методов глубокого обучения;

4. Исследованы, разработаны и внедрены методы извлечения уникальных особенностей радужки из изображения плохого качества и их последующего сравнения. Один из предложенных методов превосходит по точности существующие аналоги, в особенности, в сложных условиях регистрации изображения. Предложенные методы обеспечивают скорость распознавания, достаточную для их применения в мобильных устройствах;
5. Исследованы особенности защиты от подделывания радужек в применении к распознаванию с мобильного устройства, а также новые методы подделывания. Разработан, протестирован и внедрён новый метод защиты от подделок, основанный на применении свёрточных нейронных сетей. Предложенный метод продемонстрировал высокую точность и скорость обнаружения подделок, значительно превосходящую известные из литературы решения;
6. Собраны, обработаны и размечены следующие базы данных: наборы изображений радужки низкого качества, полученных при помощи мобильного устройства в условиях, симулирующих реальные сценарии его использования, содержащих максимум один (более 157000) и два (более 200000) глаза, набор данных изображений в том числе новых видов подделок радужной оболочки глаза (более 36000);
7. Созданы программные средства для проведения вычислительных экспериментов по оценке качества разработанных алгоритмов;
8. Созданы библиотека и демо-приложения для апробации реализованных методов и алгоритмов на мобильном устройстве.

## **Основные публикации по теме диссертации**

Публикации в журналах из списка ВАК:

1. High-Performance Iris Recognition for Mobile Platforms / G. Odinokikh, A. Fartukov, V. Eremeev, V. Gnatyuk, M. Korobkin, M. Rychagov // Pattern Recognition and Image Analysis. — 2018. — Vol. 28, no. 3. — P. 516–524.
2. Iris Anti-spoofing Solution for Mobile Biometric Applications / G. Odinokikh, I. Efimov, I. Solomatin, M. Korobkin, I. Matveev // Pattern Recognition and Image Analysis. — 2018. — P. 670–675.
3. Iris Segmentation in Challenging Conditions / M. Korobkin, G. Odinokikh, I. Efimov, I. Solomatin, I. Matveev // Pattern Recognition and Image Analysis. — 2018. — P. 670–675.

Прочие публикации:

4. Feature Vector Construction Method for Iris Recognition / G. Odinokikh, A. Fartukov, M. Korobkin, J. Yoo // ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. — 2017. — Vol. XLII-2/W4. — P. 233–236.
5. Iris Feature Extraction and Matching Method for Mobile Biometric Applications / G. Odinokikh, M. Korobkin, I. Solomatin, I. Efimov, A. Fartukov // Proceedings of 12th IAPR International Conference on Biometrics. — 2019.
6. Method of Eyelid Detection on Image for Mobile Iris Recognition / G. Odinokikh, V. Gnatyuk, M. Korobkin, V. Eremeev // Machine Learning and Data Analysis. — 2016. — Vol. 2. — P. 442–453.

Патенты на изобретения:

7. Method of Adaptive Quantization for Encoding Iris Image, Patent RU 2628201 / M. Korobkin, V. Eremeev, A. Fartukov, G. Odinokikh, V. Gnatyuk, A. Danilevich. — 2017.

8. Method of Automatic Adjustment of Exposition for Infrared Camera and User Computer Device Using This Method, Patent RU 2667790 / V. Gnatyuk, S. Zavalishin, K. Petrova, G. Odinokikh, A. Danilevich, A. Fartukov. — 2018.
9. Method of Iris Authentication of User and Device Thereof, Patent RU 2670798 / G. Odinokikh, A. Fartukov, V. Gnatyuk, V. Eremeev, J. Yoo. — 2017.
10. Method, System and Device for biometric Iris Recognition, Patent RU 2630742 / G. Odinokikh, V. Gnatyuk, A. Fartukov, V. Eremeev, M. Korobkin, A. Danilevich. — 2017.