МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ИРКУТСКИЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

НГУЕН ТХЕ ЛОНГ

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ И КОМПЛЕКСОВ ПРОГРАММ В ЗАДАЧАХ АНТРОПОМЕТРИИ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

Специальность 05.13.18 — Математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор физико-математических наук, доцент
Сидоров Денис Николаевич

Иркутск — 2017

Оглавление

Стр.

Введение 5

1 Аналитический обзор применения методов компьютерного зрения в решении задач антропометрии 13

1.1 Задачи и развитие систем компьютерного зрения 13

1.1.1 Машинное зрение в робототехнике 14

1.1.2 Машинное обучение и информационный поиск 16

1.1.3 Мобильные приложения компьютерного зрения 17

1.2 Анализ алгоритмов и методов компьютерного зрения для извлечения признаков в антропометрии 18

1.2.1 Антропометрические признаки 18

1.2.2 Анализ методов извлечения антропометрических признаков. 20

1.3 Анализ методов машинного обучения для классификации признаков 28

1.3.1 Алгоритм AdaBoost 28

1.3.2 Искусственные нейронные сети 30

1.3.3 Метод опорных векторов 31

1.3.4 Алгоритм случайного леса (Random Forest) 32

1.4 Приложение компьютерного зрения в антропометрии 33

1.5 Основные результаты и выводы по главе 1 35

2 Математические модели и алгоритмы компьютерного зрения в антропометрии 37

2.1 Обоснование исследования и приложения моделей на основе компьютерного зрения в антропометрии 37

2.2 Алгоритм извлечения антропометрических признаков из изображений и видеопоследовательностей 39

2.2.1 Предварительная обработка изображения 41

2.2.2 Алгоритмы вычитания фона изображения для обнаружения объектов 45

2.2.3 Математическая модель на основе разрезов на графах для сегментации изображений 47
2.2.4 Итеративный алгоритм ближайших точек 49
2.3 Приложение алгоритмов компьютерного зрения для извлечения антропометрических признаков 52
2.3.1 Извлечение антропометрических признаков на основе анализа изображений 52
2.3.2 Извлечение антропометрических признаков на основе анализа видеопоследовательностей 54
2.4 Оценка точности численного метода извлечения антропометрических признаков 54
2.5 Математическое моделирование типов телосложения: приложение алгоритма случайного леса для классификации антропометрических данных 63
2.5.1 Предложенная модель и предложенный алгоритм 63
2.5.2 Формирование опорных точек с признаками объектной принадлежности 65
2.6 Основные результаты и выводы по главе 2 68

3 Системный анализ и проектирование построения антропометрических систем на основе компьютерного зрения. Тестирование и разработка алгоритмов компьютерного зрения . . . 70
3.1 Анализ и проектирование системы 70
3.1.1 Анализ и проектирование системы эксперсс-антропометрии для моделирования одежды 72
3.1.2 Анализ и проектирование системы компьютерного зрения в антропометрии для фитнеса 75
3.2 Тестирование и разработка алгоритмов компьютерного зрения на изображениях и видеопоследовательностях 77
3.3 Основные результаты и выводы по главе 3 82

4 Мобильные приложения «E-Tailor» и «E-Fitness» – системы компьютерного зрения в антропометрии 83

4.1 Средства поддержки для разработки программного обеспечения (ПО) на смартфоне 83
4.1.1 Операционная система Андроид и среда программирования 83
4.1.2 Библиотеки поддержки для разработки приложений 86
4.2 Программное обеспечение мобильной экспресс-антропометрии . . 89
4.2.1 Мобильное приложение моделирования одежды E-Tailor . . 90
4.2.2 Мобильное приложение для фитнеса E-Fitness 91
4.3 Основные результаты и выводы по главе 4 95

Заключение 96

Список литературы 97

Список иллюстраций 116

Список таблиц 119

Приложения 120

Введение

Актуальность исследования. *Автоматизация антропометрических измерений* – важная область приложения методов компьютерного зрения (КЗ) [1] в математическом моделировании. Задача антропометрии состоит в обнаружении человеческого тела на изображении, распознавании его частей (головы, рук, ног и т.п.), описании антропометических признаков (размеров частей тела) с целью создания соответствующей 3D-модели [2]. В здравоохранении (измерение размеров тела, фитнес-тестирование), проектировании и пошиве одежды [3], обеспечении безопасности и разработке систем мониторинга движения [4–6], локализации и распознавании деятельности человека на изображении [7–10] требуется решение задач антропометрии с заданной точностью и скоростью [11]. Этим проблемам посвящен ряд современных исследований. Например, в работах [12; 13] предложена модель, позволяющая обнаруживать человека на статических изображениях. Barron и Kakadiaris [14] и Taylors [15] создали алгоритмы восстановления 3D-моделей человеческого тела. В работах [16–19] рассмотрена задача распознавания основных частей тела. На практике используются различные способы регистрации изображений, допускающие искажения и шум во входных данных, которые восстанавливаются при помощи большого арсенала современных методов (см., например, [20–24] и библиографию в них).

Исследования в антропометрии тесно взаимосвязаны и опираются на новейшие результаты исследований в области КЗ. Размеры человеческого тела являются важными объектами исследования во многих антропометрических исследованиях [25–27]. КЗ включает в себя методы регистрации, цифровой обработки, анализа и идентификации изображений. Методы КЗ позволяют решать задачи структурного и семантического описания содержания изображений на основе извлечения и классификации признаков распознанных на нем объектов. В приложении КЗ морфологическая обработка изображений может быть использована для идентификации объектов [28], улучшения качества изображения [29], сегментации изображений и обнаружении особенностей изображения [30]. КЗ описывается как процесс автоматизации, интеграции и распознавания визуальной информации [31–35]. КЗ связано с теорией искусственного интеллекта с

извлечением информации из изображений. Данные изображений получаются из разнообразных источников, таких как: видеопоследовательности с нескольких камер, многомерные данные с медицинских томографов [36] и др. Применение моделей и теории для построения систем компьютерного зрения является важной областью развития информатики.

Дополнительным стимулом к развитию методов компьютерного зрения в антропометрии служит высокая популярность мобильных устройств (смартфонов). Большой объем цифрового контента стимулирует создание новых методов интеллектуального анализа данных, обработки и анализа изображений и видео с ограниченными, по сравнению с компьютерами общего назначения, вычислительными ресурсами.

Таким образом, разработка новых эффективных методов бесконтактной экспресс-антропометрии является актуальной проблемой и представляет интерес для решения широкого спектра задач, возникающих в медицине, биометрии, фитнесе и моделировании одежды. Так, мониторинг антропометрических параметров позволяет оценить риски появления тех или иных заболеваний [37]. Задача извлечения антропометрических признаков относится к классу биометрических технологий. Бесконтактная экспресс-антропометрия позволяет самостоятельно проводить фитнесс-тестирование. Наконец, в последнее время приобретает большую популярность интернет-торговля, и в этой области экспресс-антропометрия имеет большие перспективы как из-за отсутствия унифицированной системы размеров, так и в силу необходимости классификации типов телосложения.

Результаты данной работы представляют собой алгоритмическое обеспечение и программные технологии для решения некоторых из перечисленных выше задач антропометрии. А именно, диссертация посвящена актуальным проблемам развития средств математического моделирования, численных методов, алгоритмов и программного обеспечения при обработке изображений и видеопоследовательностей в задачах антропометрии. Разработанные программные модули обеспечивают необходимый уровень точности измерений параметров человеческого тела, позволяющих, в частности, строить практически значимые антропометрические модели человеческого тела, а также позволяют решать поставленные задачи над входными данными, имеющими шумы, в режиме функционирования,

близком к реальному времени, при этом в определенной степени снимаются ограничения вычислительных ресурсов мобильных устройств.

Целью исследования является совершенствование математических моделей, численных методов, алгоритмов компьютерного зрения, а также их реализация в виде комплекса программ антропометрии для мобильных вычислительных платформ. Для достижения указанной цели решены следующие **основные задачи**:

1) разработка алгоритмов и методов компьютерного зрения для извлечения антропометрических признаков из изображений и видеопоследовательностей в близком к реальному времени режиме и при наличии неизбежного шума;

2) создание гибридных методов и алгоритмов компьютерного зрения, позволяющих повысить производительность вычислений и точность извлечения антропометрических признаков;

3) применение методов машинного обучения для классификации антропометрических данных;

4) разработка способа построения антропометрических моделей (способ требует правильного описания структуры и формы человека с учетом полученных измерений);

5) разработка антропометрических приложений для смартфонов с операционной системой Андроид для использования в моделировании одежды и в фитнес-тестировании; оценка качества и эффективности функционирования реализованной системы.

Методы исследования. Методы теоретических исследований: алгоритмы и методы компьютерного зрения в антропометрии; методы анализа данных и построения антропометрических моделей. Методы прикладных исследований: проектирование алгоритмов для задачи извлечения признаков и классификации антропометрических признаков; разработка антропометрических моделей для моделирования формы человеческого тела; разработка мобильных приложений; тестирование программ и хранение результатов, оценка и сравнение результатов.

Научная новизна результатов диссертационной работы заключается в следующем:

1) предложены методы математического моделирования различных типов телосложения на основе интеллектуального анализа антропометрических признаков, полученных с использованием алгоритмов компьютерного зрения;

2) адаптированы численные методы машинного обучения на основе случайного леса для классификации антропометрических данных;

3) разработаны методы визуализации моделей человеческого тела на основе антропометрических признаков, полученных при помощи авторских методов компьютерного зрения;

4) разработана бесконтактная система антропометрии для смартфона на операционной системе Андроид.

Теоретической значимостью результатов диссертационной работы является разработка и тестирование новых математических моделей в антропометрии на основе сочетания алгоритмов и методов компьютерного зрения в антропометрии.

Практическая значимость и внедрение работы. На основе предложенных моделей, методик и алгоритмов созданы мобильные приложения ОС Андроид для моделирования одежды и фитнес-тестирования. Результаты исследования применены на практике при моделировании форменного обмундирования, получен акт о внедрении.

Научная ценность исследования. Исследование позволило расширить область приложения методов компьютерного зрения в задачах антропометрии. Исследования показали, что сочетание алгоритма сегментации изображений на основе разрезов на графах с итеративным алгоритмом ближайших точек - ICP повысило точность процесса извлечения антропометрических признаков. Кроме того, результаты проведенных исследований продемонстрировали, что алгоритм случайного леса позволяет эффективно решать задачу классификации антропометрических признаков.

Практическая ценность заключается в решении задачи антропометрии на базе смартфонов. Результаты внедрены для автоматизации процедуры профессионального снятия мерок для моделирования и пошива одежды, а также для фитнес-тестирования.

Апробация работы. Работа выполнена на кафедре вычислительной техники ИРНИТУ. Результаты диссертационной работы обсуждались и докладывались на следующих симпозиумах, семинарах и конференциях: Всероссийские молодежные научно-практические конференции «Винеровские чтения» (ИРНИТУ, г. Иркутск. 2014, 2015); XIX Байкальская всероссийская конференция «Информационные и математические технологии в науке и управлении» (г. Улан-Удэ. 2014); XVI Байкальская международная школа-семинар «Методы оптимизации и их приложения» (о. Ольхон, г. Иркутск. 2014); The 4th, 5th International Conference on Analysis of Images, Social Networks, and Texts (г. Екатеринбург. 2015, 2016); V Научно-практическая Internet-конференция «Междисциплинарные исследования в области математического моделирования и информатики» (г. Тольятти. 2015). Работа выполнена при поддержке Министерства образования и подготовки кадров Социалистической Республики Вьетнам и программы развития ФГБОУ ВО ИРНИТУ.

Результаты диссертации неоднократно докладывались на научных семинарах кафедры вычислительной техники Иркутского национального исследовательского технического университета и Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН.

Личный вклад автора. Основные результаты выносимые на защиту получены автором лично. Постановки задач и анализ результатов осуществлены совместно с Д. Н. Сидоровым. Автор благодарен А. В. Жукову и Т. Х. Нгуен за поддержку и ценные советы. Конфликта интересов с соавторами нет.

Тематика работы соответствует следующим пунктам паспорта специальности 05.13.18:

– п.3 «Разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий»;

– п.4. «Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента»;

– п.5 «Комплексные исследования научных и технических проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента».

Публикации. По теме диссертации опубликовано 11 научных работ, 4 из которых – в рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 2 свидетельства регистрации программы на ЭВМ, одна статья опубликована в журнале, индексируемом Web of Science и одна статья опубликована в журнале, индексируемом Scopus.

Основные результаты исследования опубликованы в следующих работах.

Издания, входящие в Перечень ВАК РФ

1. Нгуен Т. Л. Об автоматизации извлечения и классификации антропометрических признаков / Т. Л. Нгуен, Т. Х. Нгуен // Вестник Иркутского гос. технического ун-та. – 2015. – № 4 (99). – С. 17–23.

2. Nguyen T. L. Studies of Anthropometrical Features using Machine Learning Approach / T. L. Nguyen, T. H. Nguyen, A. Zhukov // CEUR Workshop Proceedings. - 2015. – V. 1452. – P. 96–105.

3. Нгуен Т. Л. О распознавании и классификации дефектов дорожного покрытия на основе изображений / Т. Х. Нгуен, Т. Л. Нгуен // Вестник Иркутского гос. технического ун-та. – 2016. – № 10 (117). – С. 111–118.

4. Nguyen T. L. Automatic Anthropometric System Development Using Machine Learning / T. L. Nguyen, T. H. Nguyen // BRAIN. Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience. – 2016. – V. 7. – P. 5–15.

Свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ

5. Нгуен Т. Л. Программа бесконтактной антропометрии для смартфонов на операционной системе Андроид / Д. Н. Сидоров, Т. Л. Нгуен, Т. Х. Нгуен // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ. № 2016611475 от 03 февраля 2016 г. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности. 2016.

6. Нгуен Т. Л. Программа автоматического обнаружения и классификации дефектов дорожного покрытия / Д. Н. Сидоров, Т. Х. Нгуен, Т. Л. Нгуен // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ. № 2016619386 от 18 августа 2016 г. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности. 2016.

Прочие издания

7. Nguyen T. L. A Robust Approach for Defects Road Pavement Detection and Classification / D. N. Sidorov, T. H. Nguyen, T. L. Nguyen // Journal of Computational and Engineering Mathematics. – 2016. – V. 3. – No. 3. – P. 40–52.

8. Нгуен Т. Л. Автоматизация антропометрических измерений и извлечение признаков из 2D-изображений / Т. Л. Нгуен, Т. Х. Нгуен // XVI Байкальская международная школа-семинар «методы оптимизации и их приложения». О. Ольхон, Иркутск 2014г. – С. 153.

9. Нгуен Т. Л. Построение программы для обнаружения контуров человека в изображении с помощью методов математической морфологии / Т. Л. Нгуен, Т. Х. Нгуен // Материалы всероссийской молодежной научно-практической конференции «Винеровские чтения 2014». Иркутск: Изд-во Иркутск, 2014. – С. 10.

10. Нгуен Т. Л. Классификация и кластерный анализ антропометрических признаков / Т. Л. Нгуен// Материалы всероссийской молодежной научно-практической конференции «Винеровские чтения 2015». Иркутск: Изд-во Иркутск, 2015. – С. 8.

11. Нгуен Т. Л. Методы математической морфологии в цифровой обработке изображений / Т. Л. Нгуен, Т. Х. Нгуен // Труды XIX Байкальской Всероссийской конференции «информационные и математические технологии в науке и управлении». Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2014. – С. 75–81.

12. Нгуен Т. Л. Анализ антропометрических признаков с использованием методов машинного обучения / Т. Л. Нгуен, Т. Х. Нгуен // Междисцплинарные исследования в области математического моделирования и информатики . Ульяновск: Изд-во SIMJET, 2015. – С. 204–210.

13. Nguyen T. L. On Road Defects Detection and Classification / T. H. Nguyen, T. L. Nguyen, A. Zhukov // Supplementary Proceedings of the 5th International Conference on Analysis of Images, Social Networks and Texts (AIST 2016). CEUR Workshop Proceedings, 2016. – V. 1710, – P. 266–278.

Структура и объем работы. Диссертация содержит введение, четыре главы, заключение и список использованной литературы, содержащий 180 наименований. Общий объем диссертации составляет 126 страниц машинописного текста, иллюстрированного 54 рисунками и 6 таблицами.

Кратко изложим содержание **основных разделов работы**.

В первой главе представлен аналитический обзор математических моделей в антропометрии на основе статических изображений и видео в режиме реального времени. Приведены их преимущества и недостатки. Рассматривает-

ся возможность использования методов, алгоритмов компьютерного зрения для извлечения признаков.

Во второй главе излагаются принципы решения задачи антропометрии на основе анализа статических изображений и видеопоследовательностей в режиме реального времени с использованием методов компьютерного зрения. Приводится подробное описание алгоритмов, методов и математических моделей используемых для обнаружения и классификации объектов, извлечения признаков из изображений и видеопоследовательностей.

В третьей главе представлена информация о анализе, проектировании и построении системы компьютерного зрения для решения задачи антропометрии на основе анализа объектно-ориентированного языка UML. Описание структуры библиотеки классов приложений. Анализ результатов испытаний применения алгоритмов компьютерного зрения на видео в присутствии шума и в режиме близком к реальному времени.

В четвертой главе представлены результаты разработки системы компьютерного зрения в антропометрии. Приложение разработано для операционной системы Андроид для смартфонов. Даны описания использованных библиотек, выбор инструментов для поддержки разработки прикладных программных обеспечений «E-Tailor» и «E-Fitness». Изложено описание интерфейса.

В заключении приведены результаты работы.

1 Аналитический обзор применения методов компьютерного зрения в решении задач антропометрии

В данной главе представлен аналитический обзор алгоритмов и методов компьютерного зрения в антропометрии на основе анализа статических изображениях и видео в режиме, близком к реальному времени. Приведены их преимущества и недостатки. Рассматриваются возможности использования методов и алгоритмов компьютерного зрения для извлечения признаков.

1.1 Задачи и развитие систем компьютерного зрения

Машинное зрение (МЗ) – это междисциплинария область, получившая в настоящее время широкое развитие. Методы обработки изображений и МЗ являются важными разделами компьютерного зрения и основаны на комбинации многих дисциплин. Прогресс в области машинного зрения определяется развитием математических методов (математической статистики, теории вероятности, методов оптимизации, методов решения алгебраических, дифференциальных и интегральных уравнений и т. д.), а также развитием вычислительных ресурсов. Долгое время теоретические исследования в области МЗ опережали вычислительные возможности ЭВМ, что затрудняло их использование для решения практических задач. В [38] условно выделен ряд этапов развития средств МЗ и отмечено, что только с 1970-х годов XX века появилась возможность обрабатывать большие наборы данных. С тех пор концепции и методы МЗ привлекают все большее внимание. Системы МЗ (Рис. 1.1) включают в себя следующие основные компоненты:

– подсистему формирования изображений, которая сама, как правило, включает разные компоненты, например, оптическую систему, освещение и ПЗС- или КМОП-матрицу;

– вычислитель;

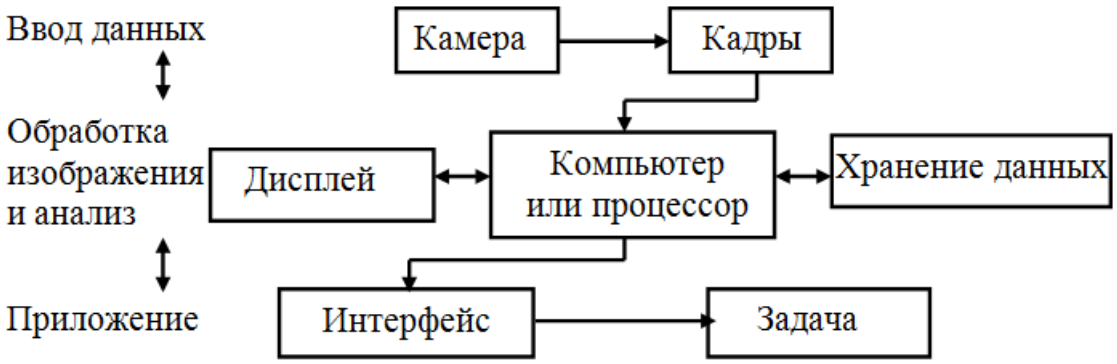


Рис. 1.1. Описание структуры системы МЗ

– алгоритмы анализа изображений, которые могут реализовываться программно на процессорах общего назначения, аппаратно в структуре вычислителя и даже аппаратно в рамках подсистемы формирования изображений.

МЗ предоставляет важнейшую информацию для создания систем искусственного интеллекта. Такие системы могут получать информацию как из полученных изображений, так и из наборов многомерных данных различной природы [39]. Сочетание машинного зрения с другими областями, такими как информационные технологии, связь, электроника, автоматическое управление и т. д. имеет приложения в области науки, неразрушающего контроля качества, промышленных роботов и т. д.

В последние годы проводятся научно-исследовательские работы в различных областях обработки и распознавания изображений [40]. МЗ стало самостоятельной дисциплиной [41; 42]. В настоящее время методы МЗ реализованы на множестве устройств, применяются технологии обработки и управления на основе анализа изображений. Приведем краткий обзор приложений систем МЗ в робототехнике.

1.1.1 Машинное зрение в робототехнике

Системы МЗ роботов является интегрированной системой, включающей одну или несколько камер [43]. В зависимости от назначения, система должна обнаруживать объекты в поле зрения камеры (ROI, Region of Interest). На основе этой системы робот решает задачи определения местоположения и направления

движения объектов. Для достижения высокой эффективности (скорости и точности обработки в режиме видеопотока) функционирования необходимо обеспечивать эффективную совместную работу системы, включая аппаратные средства и программное обеспечение [44–47].

В современной промышленности системы МЗ роботов применяется в различных областях, таких как:

– автомобильная промышленность с автоматизированными системами сборки и обработки двигателей, автомобильных кузовов;

– пищевая промышленность, например, система контроля автоматического закрывания пакета, закрывания контейнера обнаружения посторонних предметов в пище при упаковке;

– фармацевтическая промышленность: контроль упаковки и партии, обнаружение дефектов;

– военно-силовые структуры: обнаружение целей беспилотными летательными аппаратами, анализ багажа, анализ поведения групп людей в общественных местах;

– обеспечение безопасности, предупреждение преступности на основе распознавания лиц, отпечатков пальцев, формы человека;

– индустрии развлечений и спорта: системы автоматического управления камерой слежения за объектами в футбольном матче, гонках и т. д.

Таким образом, современная робототехника требует решения многих сложных задач МЗ, в том числе следующих:

– ориентация во пространстве и определение расстояний до объектов;

– распознавание и классификации различных объектов, интерпретации сцен, навигация;

– обнаружение людей, распознавание их лиц и анализ эмоций;

– восстановление изображений и видеопоследовательностей и подавление шумов, повышение разрешнения изображений, в том числе получение изображений со сверхразрешением.

1.1.2 Машинное обучение и информационный поиск

Методы машинного обучения широко применяются в МЗ на этапе принятия решения. Как правило, такое решение связано с неразрушающим контролем качества [40], с автоматическим распознаванием и классификацией дефектов. Машинное обучение (МО) – обширный подраздел искусственного интеллекта, изучающий методы построения алгоритмов, способных обучаться. Кроме того, МО содержит алгоритмы и методы, которые позволяют эффективно работать с данными изображений и видеопоследовательности. Сочетание МЗ и МО является перспективным для создания полезных и эффективных приложений в различных областях науки и техники.

На сегодняшний день МО используется во многих интернет-проектах. У многих известных IT-компаний (к примеру, Яндекс, Google, Facebook, Microsoft) на нём базируются многие ключевые технологии [48].

Задачи поиска изображений по содержанию также разнообразны [49; 50] и могут интерпретироваться в терминах машинного обучения как задачи классификации. Здесь важными являются задачи понижения размерности, извлечения признаков, сравнение содержимого изображения для обнаружения и распознавания объектов на изображениях. Такие алгоритмы очень полезны для создания приложений, таких как: классификация данных (изображения, видео и т. д.), поиск товаров на основе изображений для интернет-магазинов, для извлечения изображений в геоинформационных системах, для систем биометрической идентификации, индексация и анализ медицинских изображений, для специализированного поиска изображений в социальных сетях (например, для поиска лиц людей, привлекательных для пользователя) [51] и т. д.

Методами МО при разработке систем КЗ решаются проблемы распознавания объектов. Разработка алгоритмов классификации является одной из важнейших областей МО [52]. Методы глубокого обучения (deep learning) [53] требуют огромных вычислительных ресурсов, и даже для обучения распознаванию ограниченного класса объектов могут требоваться несколько дней работы на вычислительном кластере. При этом в будущем могут быть разработаны еще более мощные, но возможно требующие еще больших вычислительных ресурсов ме-

тоды. Отметим, что использование специфики решаемой задачи позволяет существенно сократить вычислительную сложность, однако требует более глубокого понимания сути решаемой задачи.

1.1.3 Мобильные приложения компьютерного зрения

Задачи КЗ все шире используются в приложениях для персональных мобильных устройств, таких как смартфоны, планшеты и прочее. В частности, число смартфонов неуклонно растет и уже превысило по численности население земли [54]. Часть задач по обработке изображений для мобильных устройств с камерами совпадает с задачами для цифровых фотоаппаратов. Основное отличие заключается в качестве объективов и в условиях съемки. В спектре аппаратного обеспечения, доступного для решения задач отметим модули с доступом к интернет, наличия интернета, GPS и конечно мощного процессора и большой памяти. Именно с этим связано появление такого термина, как «smart phone» [55].

В этой связи решение, казалось бы, идентичных задач для разных устройств может различаться, что делает эти решения высоко востребованными на рынке. Приложения для смартфонов выходят на рынок, наблюдается огромный интерес к компьютерному зрению и приложений дополненной реальности в мобильных устройствах [56].

В настоящее время существует много приложений, использующих обработку изображений, для мобильных устройств. Например, программа автоматической коррекции лицевых дефектов (таких, как морщины, угри, веснушки) в соответствии с заданным стилем (натуральный, классический, контраст и т. д.). Это такие приложения, как camera360, Perfect Selfie. Приложения по обработке изображений на видео позволяют пользователям создавать тематические видео из фотографий, анимации и т. д. – MiniMovie [57], Imovie-editing [58] и Маскарад [59], которые преобразует видео в стиль картин художника Ван Гога и мультипликации.

Более сложные задачи, связанные с сопоставлением (отождествлением опорных точек) на изображениях, оценкой трехмерной структуры сцены, опре-

делением изменения ориентации камеры, распознавание объектов, а также с анализом лиц людей, находят свои приложения при разработке различных систем безопасности. Повышение качества решения перечисленных задач требует совершенствования и разработки нового математического и программного обеспечения, и адаптации его к вычислительным возможностям мобильных устройств, а также к их периферии.

Перечисленные примеры и задачи показывают, что класс приложений КЗ и МО на мобильных устройствах крайне широк и любое продвижение в развитии и исследовании методов обработки изображений является актуальным.

1.2 Анализ алгоритмов и методов компьютерного зрения для извлечения признаков в антропометрии

Использование современных методов компьютерного зрения позволяет разрабатывать новые подходы к автоматизации различных задач в антропометрии. Компьютерное зрение предоставляет большой арсенал методов для решения задач антропометрии. Условно такие задачи можно разбить на следующие этапы: калибровка, регистрация изображения (или видео), обнаружение объекта (человека), сегментация и выделение признаков (антропометрических измерений). Также требуется классификация признаков и построение антропометрических моделей человека (эти задачи будут рассмотрены ниже).

1.2.1 Антропометрические признаки

Исходя из нашей цели необходимо реализовать алгоритмы извлечения признаков из изображений человека, чтобы достичь наилучшей точности, устойчивости и скорости антропометрии.

Итак, первая задача состоит в использовании и преобразовании изображения в вектор признаков (представляющий собой основу математической модели

телосложения). По сути это представление информации в более сжатом виде в зависимости от решаемой задачи.

Признак (feature) f объекта a – отображение $f : A \to D_f$ где D_f – множество допустимых значений признака [60]. Если имеется набор признаков $f_1,\ldots,f_n$, то вектор $x = (f_1(a), \ldots, f_n(a))$ называется признаковым описанием объекта $a \in A$. Признаковые описания с определенными ограничениями допустимо отождествлять с самими объектами. При этом множество $A = \left(D_{f_1} \times \ldots \times D_{f_n}\right)$ называют признаковым пространством (feature space, пространство признаков). Задаче извлечения признаков объектов, как правило, предшествуют этапы обнаружения и сегментации объектов. Антропометрические признаки выражены в форме и размерах частей человеческого тела (рис. 1.2). В данной работе, по размерам антропометрических признаков придерживается государственный стандарт РФ ГОСТ Р ИСО 3635-99 [61] и европейский стандарт указания размеров одежды EN 13402 [62]: название размеров, определения, обозначения и требования к измерению, измеряемая величина (в сантиметрах).

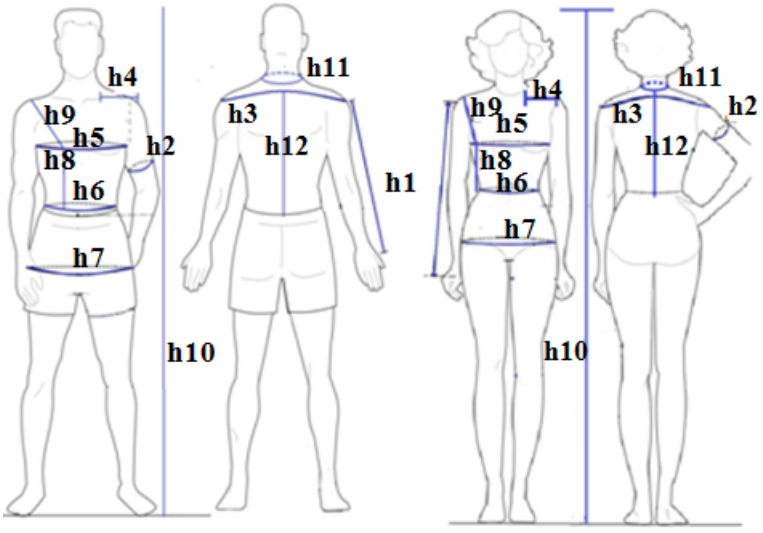


Рис. 1.2. Описание антропометрических признаков

Признаки формы. Форма объекта или области является важной характеристикой при обнаружении и классификации изображений в распознавании образов [63], [64]. Основная цель анализа формы состоит в измерении геометрических свойств объекта, используемых в классификации, в сравнении и распознавании объектов [65]. Так, в области антропометрии антрометрической характеристикой является размер частей человеческого тела. Такой вектор признаков состоит из следующих величин [66]: рост, длина рук, длина ног, окружность талии,

окружность грудной клетки, окружность бедер и т. д. Современные антропометрические измерения могут служить основой для 3D моделей человеческого тела [67–69]. Работа [70] посвящена анализу антропометрических характеристик человеческого тела с целью определения границ изменения параметров и их взаимосвязи в рамках задачи параметрического моделирования компьютерных манекенов. В [2] предложен метод математического моделирования нестандартных параметризованных манекенов в рамках параметрического представления сложных геометрических объектов, удовлетворяющих заданным антропометрическим данным. Результаты исследований сосредоточены на построении таких частей человеческого тела, как грудь и талия. Время построения 3D модели 1-5 минут.

Отметим возможность использования цвета кожи в ввиде признаков. Цвет является отличительной особенностью и используется для алгоритма обнаружения кожи [71]. Каждый пиксель (информация о цвете) может быть представлен в виде трехмерной точки в определенном цветовом пространстве [72; 73]. Общие цветовые пространства: RGB, Munsell, CIE, HSV [63].

1.2.2 Анализ методов извлечения антропометрических признаков.

Приведем краткий обзор исследований, посвященных применению методов компьютерного зрения к решению задач антропометрии, анализу положений человека и создания антропометрических моделей. Для статических изображений был проведен ряд научно-исследовательских работ для обнаружения человеческого тела, используя описание фона и модели человеческого тела [74]. В работе [75] представлен алгоритм сегментации частей тела на основе силуэта. Данный подход делит тело на основе использования контура каждой области на теле человека. Авторы отмечают, что эффективность их алгоритма резко снижается, когда части тела, особенно руки, держатся близко к телу. Авторы [76] продемонстрировали, что использование искусственно сгенерированных данных обучения помогает произвести сегментацию человеческого контура, взятого из

зашумленных изображений реального силуэта. Авторы утверждают, что такая сегментация должна хорошо работать несмотря на шум в исходных данных.

Извлечение антропометрических признаков проводится, как правило, на основе анализа 2D-изображений. На алгоритмы обнаружения локальных особенности опираются многие приложения. Например: бесконтактное измерение размеров человеческого тела [77], построение 3D моделей [78], [79], распознавание человеческих действий [80], обнаружение человека с помощью методов извлечения признаков SURF и SIFT [81], обнаружение локальных точек признаков с помощью детектора Харриса [82]. В работе [83] предложена методика сочетания наборов данных (PCD) для синтеза антропометрических баз данных на основе легкодоступной информации о значениях измерения различных областей человеческого тела. Авторы собрали такие данные для проведения анализа динамики населения. Метод состоит из трех этапов: сбор описательной статистики об антропометрии, настройка антропометрических моделей к этой информации. Применение этой процедуры продемонстрировано на двух базах данных: военных США в конце 1980-х и японской молодежи в начале 1990-х годов. Методика является простой, легко применимой для анализа больших баз антропометрических данных и точной. В данной статье [84] представлен количественный анализ качества данных, собранных в ходе опроса населения волонтерами. В результате обследования населения была исследована связь данных артериального давления и антропометрии. В статье [85] предлагается подход для автоматического обнаружения опорных точек контура человеческого тела. Этот метод применяется к изображениям, в которых имеется две раличные позы (стоя в профиль и анфас). Реализуется он следующим образом: во-первых, используется эффективный подход к обнаружению формы тела – метод на основе обнаружения крев [86] и 8-связного цепного кода Фримэна [87]. Затем определяются взаимосвязанные регионы. Ряд характерных точек извлекается на основании указанных правил путем измерения разности между областями сегментов. В общей сложности 101 характерная точка с четкими геометрическими свойствами извлекаются автоматически, в том числе 27 точек – ориентиров для моделирования одежды. Наконец, предлагаемый подход был протестирован на человеческих субъектах, и целых 101 характерных точек с конкретными геометрическими характеристика-

ми были правильно извлечены, что свидетельствует об эффективной и надежной работе (рис. 1.3).

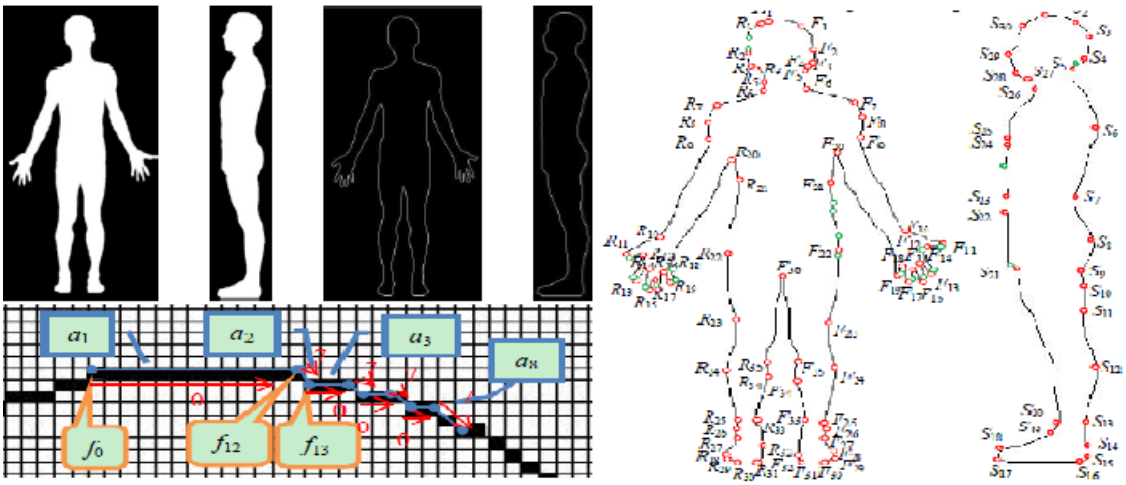


Рис. 1.3. Маркировка контура в методе извлечения антропометрических признаков на основе опорных точек [77]

В работе [88] предложен метод обнаружения объектов в случае их частичной видимости в поле зрения. Метод апробирован на видеопотоке уличных сцен. Основной вклад этого метода включает:

– проектирование иерархии для процесса обучения путем деления признаков;

– метод сегментации объектов на основе классификатора AdaBoost.

Ioffe и Forsyth [89] предложили методы автоматизации антропометрии, основанные на обнаружении частей тела человека. Их система подразумевает, что человек одет в специальную одежду. Определения сегментов для определения опорных точек тела, необходимых для правильного измерения длины сегментов тела встречаются в [90]. На рис. 1.4 представлена часть обнаружения тела человека на основе каскадных признаков и метода классификации на основе бустинга [91]. Программа включает в себя 3 этапа: 1) обнаружение человека, 2) обнаружение верхней части тела, средней и нижней частей тела, 3) соотнесение различных частей человеческого тела. Используется следующая классификация : верхняя часть тела (голова, правая, левая часть лица), средняя часть тела (правая рука, левая рука), нижняя часть тела (правая нога, левая нога, ноги).

Кроме того, улучшен метод, использующий математические модели формы (3D-сканирование) для извлечения антропометрических признаков. В работе [92] авторы предложили построение модели, которая состоит из трех основ-

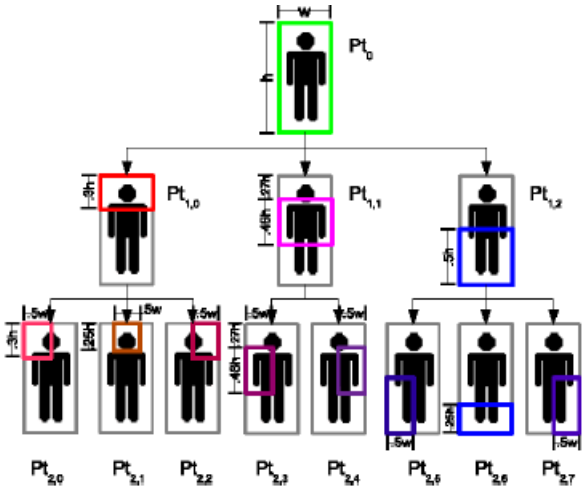


Рис. 1.4. Описание системы распознавания объекта на основе обнаружения каждой его части [88]

ных этапов: построение базы данных, статистического анализа и генерации модели. База данных была собрана из 250 3D-сканов всего тела. Данные обрабатываются для статистического анализа (рис. 1.5). Используется соотношение частей человеческого тела для построения антропометрических моделей. Система определяет местоположение и форму каждой части тела и вычисляет её размер. По сравнению с другими параметрическими методами моделирования человека [93], [94], их метод вносит свой вклад путем введения нового способа соотношения формы и размеров тела путем создания усовершенствованной техники оптимизации параметров для генерации математической модели телосложения человека.

Авторы работы [95] также предложили метод математического моделирования формы человеческого тела. Система собирает данные путем 3D сканирования человеческого лица. Система анализирует полученные данные на основе основного метода главных компонент – PCA. Используя специальную базу данных, можно проанализировать и извлечь доминирующие переменные, определяющие форму лица. Используя идеи статьи [95], Allen в работе [96] установил набор 3D данных сканирования тела. Был разработан новый способ генерации последовательной структуры сетки сканирования на основе шаблонов. В работах [97; 98] авторы предложили использовать нейросетевой подход в этой задаче. Этот подход показал высокую эффективность для соотнесения размера фактического человеческого тела с размерами из базы данных. Критическую роль в этом подходе играет процесс обучения. Была обнаружена зависимость между формой

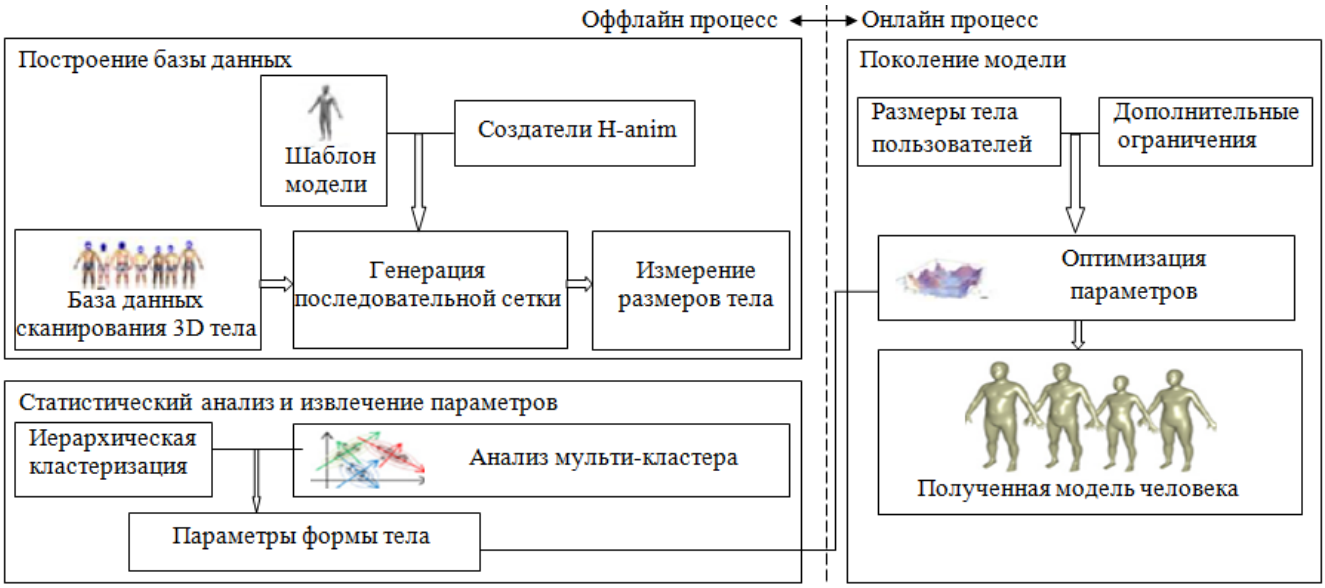


Рис. 1.5. Описание метода извлечения антропометрических признаков на основе сканирования тела [92]

и размерами человеческого тела. На основе этих отношений система синтезирует новую модель с размером тела путем сопоставления формы в базе данных. Подобный подход мы используем в нашей работе (см. главу 2). Другой подход к автоматизации антропометрии, основанный на компьютерном зрении изложен в работе [99]. Система довольно сложная и состоит из основных этапов: обработки изображений на основе вычитания фона и распознавания маркера, обработки инфракрасных изображений для надежного обнаружения маркера, для проектирования ортопедических стелек с учетом индивидуальных особенностей (рис. 1.6). Эта тема получила развитие в работах [100] и [101].

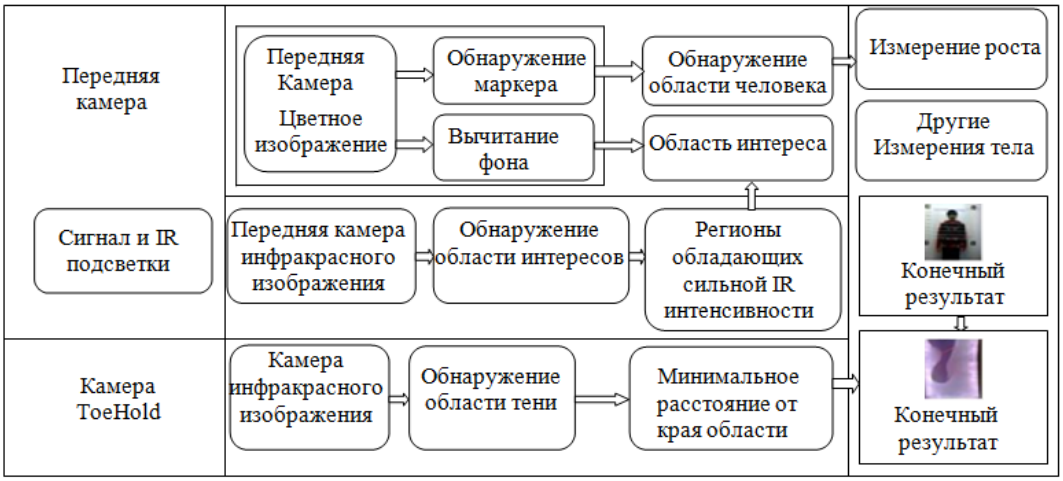


Рис. 1.6. Описание системы извлечения антропометрических признаков в остеопатии [99]

Перейдем к описанию непосредственно математических методов компьютерного зрения, задействованные нами в гл. 2 при решении поставленных задач.

Алгоритм разрезов на графах. Сегментация изображений является одним из важных шагов в процессе компьютерного зрения. Сегментация изображений играет большую роль в анализе изображений и в получении важной информации из изображений.

На практике сегментация изображений имеет две сложные проблемы: слабые границы и структуры подлежащие обнаружению. Первая проблема состоит в нахождении слабых границ, когда они являются частью соответствующей границы. Вторая проблема заключается в разделении сложных структур в изображении [102; 103]. Такие ситуации часто возникают в практике. В этом случае методы сегментации являются неэффективными без добавления априорной информации пользователей. Поэтому, использование методов сегментации изображений с учителем широко используется.

В настоящее время существует много алгоритмов предлагаемых для решения задач сегментации изображений. Существует три типа алгоритмов сегментации обучения с учителем, основанных на исходной информации от пользователей:

– первый тип является результатом сегментации на основании желательных границ, например Intelligent Scissors [104];

– второй тип является результатом сегментации на основании исходных границ, которые находятся близко с желательными границами, например Active Contour [105] и Set Level [106];

– третий тип является результатом сегментации на основании маркировки пикселей, которые задаются пользователями. Например, метод Оцу [107] используется в области компьютерного распознавания образов и обработки изображений для получения чёрно-белых изображений. Алгоритм на основе гистограммы разделит пиксели двух классов («полезные» и «фоновые»). Но метод Оцу не будет работать эффективно в случае использовании эквализации гистограммы для уменьшения зависимости от условий освещения.

Одним из популярных подходов является метод разрезов на графах, которые основаны на функции энергии. В этом методе изображение представляется как взвешенный неориентированный граф. Обычно пиксель или группа пиксе-

лей ассоциируется с вершиной, а веса рёбер определяют (не)похожесть соседних пикселей. Затем граф (изображение) разрезается согласно критерию, созданному для получения «хороших» кластеров. Каждая часть вершин (пикселей), получаемая этими алгоритмами, считается объектом на изображении (рис. 1.7).

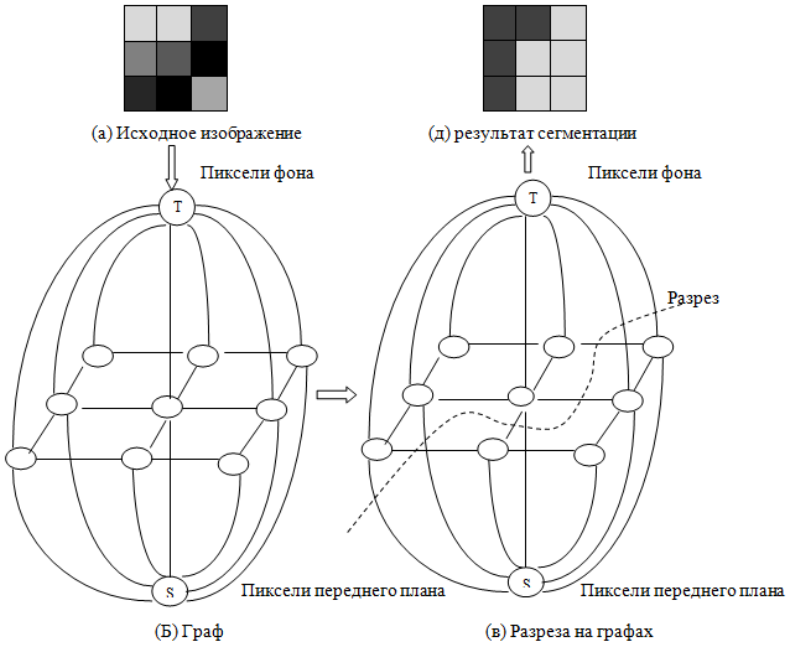


Рис. 1.7. Пример сегментации объекта на основе разрезов на графах [108]

В настоящем исследовании метод разрезов на графах применен для решения задач сегментации изображений, которые имеют сложную структуру на основе анализа соотношения компонентной связности между пикселами для построения карты дефектов [109; 110]. Таким образом, в диссертационной работе применяется метод разрезов на графах для сегментации частей человеческого тела.

На входе данный алгоритм разрезов на графах получает исходные данные изображений и добавление информаций от пользователей: количество пикселей объекта, области вокруг объекта, приблизительную границу объекта [111]. На практике минимизация ошибок сегментации обеспечивается контролем полноты исходных данных. Дан граф $G(V,E)$ с пропускной способностью $c(u,v)$ и потоком $f(u,v) = 0$ для ребер из u в v. Необходимо найти максимальный поток (Max – flow) из источника s (source) в сток t (sink). На каждом шаге алгоритма действуют те же условия, что и для всех потоков [112]:

– $f(u,v) \leq c(u,v)$ – это поток из u в v не превосходит пропускной способности;

– $f(u,v) = -f(v,u)$;

– $\sum_v f(u,v) = 0 \leftrightarrow f_{in}(u) = f_{out}(v)$ для всех узлов u, кроме s и t.

В сегментации изображений обычно имеется задача разбиения на 2 области: передний план (foreground) и фон (background). Данный метод стал основой большинства современных наилучших методов интерактивной сегментации, так что остановимся на этом алгоритме подробнее.

Итеративный алгоритм ближайших точек. Алгоритм был предложен Paul J. Besl и Neil D. Mackay в работе [113]. Итеративный алгоритм ближайших точек используется для минимизации расстояния между двумя заданными точками. Алгоритм широко используется в построении 3D объектов на основе изображений [114; 115]. Для сокращения времени вычислений и улучшения сходимости предложенного в работе численного метода, предлагается использовать итеративный алгоритм ближайших точек (ИАБТ) для поиска опорных точек. На каждой итерации используется стабильный метод оценки параметров модели на основе случайных выборок RANSAC [116], чтобы удалить выбросы и тем самым гарантировать сходимость ИАБТ. Алгоритм RANSAC часто используется в компьютерном зрении. Преимуществом алгоритма RANSAC является его способность дать надёжную оценку параметров модели. Алгоритм позволяет оценить параметры модели с высокой точностью, даже если в исходном наборе данных присутствует значительное количество выбросов. Для итеративного алгоритма ближайших точек характерны две основные проблемы: во-первых, он является алгоритмом, основанным на сопоставлении точек, не принимая во внимание локальную форму поверхности вокруг каждой точки, и, во-вторых, поиск ближайших точек в главном цикле алгоритма обладает большой вычислительной сложностью. Использование итеративного алгоритма ближайших точек требует:

– использование порога для сравнения росстояния между точками в двух наборах точек;

– для исключения случая совпадения двух точек рассмотривается каждая пара точек для исключения.

1.3 Анализ методов машинного обучения для классификации признаков

В настоящее время существует множество методов и алгоритмов компьютерного зрения, предложеных и развитых для классификации данных.

Особенности систем машинного зрения позволяют вырабатывать требования для разработки методов и алгоритмов классификации. Кроме того, тип данных является решающим фактором адекватности и точности классификации [117; 118]. Проведено много исследований, в которых успешно применяются алгоритмы и методы компьютерного зрения для классификации данных, таких как распознавание жестов [119], распознавание лиц [120; 121], идентификация деятельности человека [122; 123]. Адаптивные методы распознавания объектов и классификации основаны на автоматической подстройке к свойствам обрабатываемых данных, что позволяет разработать распознающую систему с приемлемыми характеристиками [124]. Ко второй категории относятся методы, характеризующиеся сокращением размерности данных [125; 126]. Ниже изложим наиболее популярные методы классификации.

1.3.1 Алгоритм AdaBoost

Алгоритм AdaBoost был разработан Йоавом Фройндом (Yoav Freund) и Робертом Шапиром (Robert Schapire) в 1996 году [127; 128]. Этот алгоритм «адаптивность и усиление» используется для создания классификатора. Как известно, классификатор на входе принимает набор данных для обучения и пытается предсказать или классифицировать новые образцы данных, которые относятся к определенному классу [129] (рис. 1.8). Алгоритм AdaBoost (см. алгоритм 1) построен на основе алгоритмов обучения (например, деревья решений) и объединения их. Цель состоит в том, чтобы создать один сильный классификатор на основе нескольких слабых классификаторов. Алгоритм AdaBoost успешен в поиске лиц на статических изображениях [130]. Сайты постоянно поддерживают поиск информации на основе изображений используя AdaBoost.

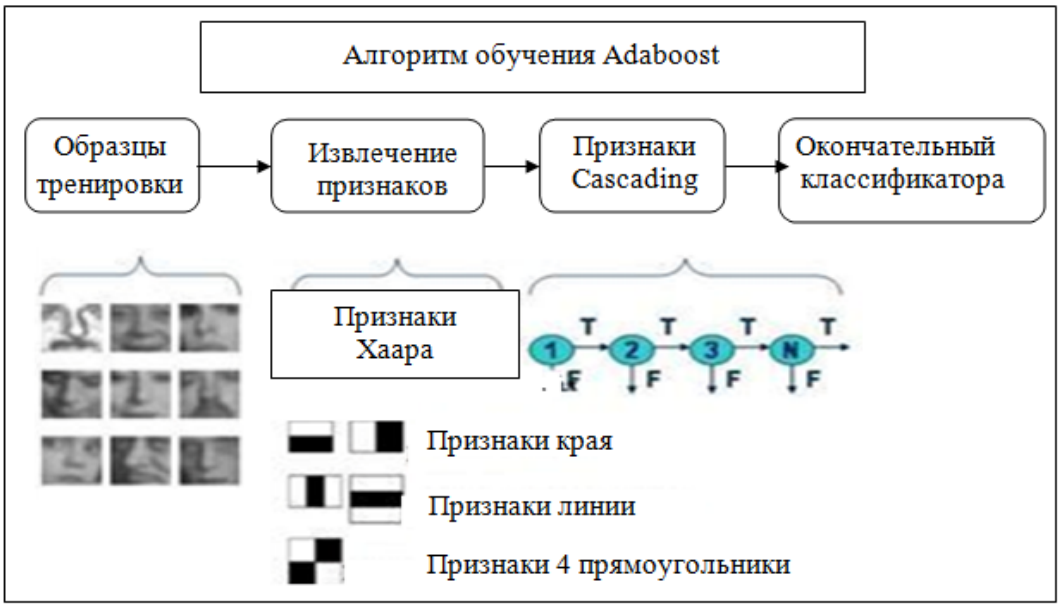


Рис. 1.8. Описание алгоритма AdaBoost [129] применительно в методу поиска лиц Viola-Jones

Исходные данные: X^l: обучающая выборка
Результат: $b_1, ..., b_T$ базовые алгоритмы классификации
1. Инициализация весов объектов:$\gamma_i = 1/l, i = 1,..,l$;
2. Для всех $t = 1, ..., T$, пока не выполнен критерий останова.
   2.1 Находим классификатор $b_t : X \to \{-1, +1\}$ который минимизирует взвешенную ошибку классификации;
   $W^l = (w_1, \ldots w_l)$ — вектор весов объектов.
   $Q(b,W^l) = \sum_{i=1}^{l} w_i[y_i b(x_i) < 0]$ – стандартный функционал качества алгоритма классификации b;
   $b_t = \arg\min_b Q\left(b,W^l\right)$;
   2.2 Пересчитываем кооэффициент взвешенного голосования для алгоритма классификации b_t:
   $\alpha_t = \frac{1}{2}\ln\frac{1-Q\left(b,W^l\right)}{Q\left(b,W^l\right)}$;
   2.3 Пересчет весов объектов:
   $w_i = w_i \exp\left(-\alpha_t y_i b_t\left(x_i\right)\right), i = 1, \ldots, l$;
   2.4 Нормировка весов объектов:
   $w_0 = \sum_{j=1}^{l} w_j; w_i = w_i/w_0, i = 1, \ldots, l$;
3. Возвращаем: $a\left(x\right) = sign\left(\sum_{i=1}^{T} \alpha_i b_i\left(x\right)\right)$

Алгоритм 1: Описание алгоритма Adaboost

Система поиска лица на основе алгоритма «Viola-Jones» [131], [132] также использует AdaBoost. Эти системы работают с высокой точностью и широко распространены, например в цифровых фотокамерах и смартфонах. Вейвлет Ха-

ара [133] является одним из простых признаков, которые обычно используется на практике. Но размер такого вектора-признака довольно большой (162,336). Таким образом, нужно применять метод главных компонентов (англ. principal component analysis, PCA) [134] для увеличения или уменьшения размера и выбора новых функций с целью управления точностью распознавания. После этого полученные данные классифицируются алгоритмом AdaBoost.

Этот алгоритм прост и удобен, а также имеет очень высокую скорость обучения. Алгоритм AdaBoost гибкий и универсальный, может быть объединен с любым алгоритмом машинного обучения и может работать с большим количеством различных данных.

1.3.2 Искусственные нейронные сети

Искусственные нейронные сети (ИНС) успешно использовались для решения задач классификации объектов [135] начиная с середины прошлого века. С точки зрения машинного обучения искусственные нейронные сети (ИНС) являются вычислительными моделями, которые способны решать задачи распознавания образов [136], [137]. Нейронную сетевую архитектуру можно разделить на две основные группы: сети прямой связи [138] и обратного распространения сети [139]. При решении задачи классификации возраста и пола человека на основе анализа изображений применяется большое количество нейронных сетей различных архитектур [140]. В частности, используются вероятностные нейронные сети (probabilistic decision-based neural networks) [141], многослойные персептроны [142] и т. д. ИНС являются одним из приоритетных направлений исследований в области машинного обучения.

Действительно, ИНС способны решить различные проблемы: классификация образов, аппроксимации функций, оптимизации и квантования вектора пространства данных. При этом традиционные методы часто не могут эффективно решить вышеуказанные проблемы.

1.3.3 Метод опорных векторов

Метод опорных векторов (Support Vector Machines, МОВ) используется для решения задач классификации и регрессионного анализа. Этот метод был предложен В. Вапником и А. Червоненкисом в 1995 году [143]. Особые свойства МОВ – это непрерывное уменьшение эмпирической ошибки классификации. Использование МОВ (см. алгоритм 2) и мешка признаков (Bag-of-Features)

Исходные данные: набор данных $X = x^h, q^h, h = \overline{1,H}$, содержит два класса $q \in +1; -1$
Результат: Построить поверхность, разделяющую все множество точек на два подмножества $q = 1$ и $q = -1$
1. x_i положительные ($y_i = 1$):
$x_i w + b \geq 1$
x_i отрицательные ($y_i = -1$):
$x_i w + b \leq 1$
2. Для опорных векторов
$x_i w + b = \pm 1$
3. Расстояние от точки до гиперплоскости:
$\frac{|x_i w + b|}{|w|}$

Алгоритм 2: Описание алгоритма МОВ в простейшем линейном случае

оказалось эффективным в задачах обнаружения и распознавания жестов на видеопоследовательности [144; 145], а также при решении других задач [146; 147]. Метод опорных векторов (МОВ) позволил классифицировать нормальные и аномальные поведения человека [148]. В работе [149] авторы представили предлагаемый подход к классификации пола и размера одежды с помощью метода опорных векторов. Алгоритм работал с антропометрическими данными для классификации по двум классам: мужчины / женщины.

МОВ, как и методы на основе деревьев решений, даёт высокую точность для наборов данных, в том числе в задаче прогнозирования временных рядов (см., например, [150]). Тем не менее, не существует универсального метода классификации. Результат всегда зависит от цели системы и типов данных. Кроме того, выбор ядра и других параметров является слабостью МОВ.

1.3.4 Алгоритм случайного леса (Random Forest)

Random Forest (случайный лес) [151;152] является развитием семейства алгоритмов, разработанных Лео Брейман в университете Калифорнии, Беркли. На самом деле, Random Forest использует методы, называемые мешками (bagging). Эта методика позволяет выбрать подмножество атрибутов в каждом узле дерева классификатора, чтобы разделить его на следующий уровень. Таким образом, Random Forest имеет возможность разделить очень большое пространство поиска на меньшие пространства поиска. Это позволяет выполнять сортировки быстро и легко.

Алгоритмы классификации на основе случайного леса получили существенное развитие в последние годы, см. обзор и библиографию в работе [153]. В случайном лесе разработка набора деревьев значительно улучшила точность классификации, каждое дерево в наборе будет «голосовать» за самый популярный класс. Для развития наборов деревьев, как обычно, создаются случайные векторы. Такие векторы будут регулировать «развитие» каждого дерева в вышеупомянутом наборе. Для дерева K в наборе, случайный вектор θ_k генерируется, независимый с генерированными векторами ранее $\theta_1, \theta_2, \ldots, \theta_{k-1}$, но распределение таких векторов одинаково.

Далее дерево K строится на основе обучающего множества и вектора θ_k. Получается результат: подкласс $h(x, \theta_k)$, где x – входной вектор. После создания большого количества деревьев, проводится голосование (выбор) за самый «популярный» класс.

Случайный лес определяется следующим образом [154]: подкласс случайного леса, состоящий из наборов слоистой структуры дерева $\{h(x,\theta_k), k = 1, \ldots,n\}$ где $\{\theta_k\}$- независимые векторы, также случайным образом распределенные, и каждое дерево даёт один голос для наиболее популярного класса в входном векторе x.

Таким образом, основная идея алгоритма случайного леса состоит в следующем:

– в каждом подразделении деревьев, случайный набор m признаков взят из начальных признаков, которые участвуют в распределении деревьев;

– первый шаг в оценке важности переменной в тренировочном наборе – тренировка случайного леса в этом наборе. Во время процесса построения модели для каждого элемента тренировочного набора считаются так называемой «out-of-bag» ошибкой. Затем такая ошибка усредняется по всему случайному лесу.

Отметим, что случайный лес является эффективным методом классификации, потому что: 1) в методе Random Forest ошибки сведены к минимуму в результате случайного леса, синтезированию через обучения (learner), 2) случайный выбор на каждом этапе в Random Forest снижает корреляцию между учавствующими в синтезе результатами. Кроме того, было обнаружено, что общая ошибка всего случайного леса зависит от их индивидуальных ошибок в деревьях, а также корреляции между деревьями леса.

1.4 Приложение компьютерного зрения в антропометрии

Применение методов компьютерного зрения в антропометрии должно соответствовать следующим требованиям: быстрая скорость обработки, высокая точность, возможность создать базу данных для создания приложений на практике. Программное обеспечение распознавания объектов на основе антропометрических признаков лиц [155] используется в области безопасности, 3D моделировании [156] для приложений в различных областях тестильной промышленности, здоровья. Сканеры тела все чаще используются для оценки состояния здоровья и антропометрии, например Caesar project [157], SizeUK [158] and SizeUSA [159]. В будущем такие системы будет развиваться для решения различных задач антропометрии.

BreuckmannBodySCAN [160] – это система для проведения антропометрических измерений. По сравнению с ручным измерением, антропометрическое измерение демонстрирует незначительную погрешность. Однако это показывает, что автоматические антропометрические измерения лучше традиционного ручного метода. Для проверки ошибок авторы используют систему на основе так называемого соотношения значительного/границы (significant/borderline). Если

коэффициент > 0.9, то результат измерения является приемлемым. Преимущество этой системы состоит в том, что она не зависит от движения объекта или отсутствия движения объекта, не подверженных внешним факторам, таких как шум и т. д.

3DscannerData [161] является приложением, в котором система компьютерного зрения используется в области медицины. Система анализирует форму человеческого тела. Система позволяет проводить ряд антропометрических измерений на основе данных со сканера человеческого тела. Система позволяет анализировать и прогнозировать отложение жира в организме человека. Системы, основанные на размере тела сравниваются со стандартным размером, чтобы выяснить разницу. Недостатком этой системы является то, что нельзя определить точное местоположение опорных точек на теле человека для проведения антропометрических измерений.

Некоторые интеллектуальные системы на основе компьютерного зрения были применены и в текстильной промышленности (см., например, [3]). В существующих системах были использованы интеллектуальные системы непосредственно для изготовления одежды на заказ.

Поэтому, в рамках диссертации предлагается система, которая, например, может помочь портному (или сотруднику фитнес-центра) измерить размеры тела клиента автоматически. Эта система использует способ и систему, основанную на компьютерном зрении, обеспечивая комфорт и конфиденциальность для клиентов (изображение или видеопоследовательности не сохраняются) и в целях экономии средств и удобств для заказчика такого антропометрического измерения. Проведенные эксперименты показали, что система позволяет измерить размеры частей человеческого тела быстро и качественно, даже при наличии шума в исходных данных.

Кроме того, разработанная система может применяться в области фитнеса. Система помогает пользователям часто проводить антропометрическое измерение, проверять индекс ожирения, выдавая сравнительный результат и рекомендации в корректировке фигуры. Таким образом, цель работы состоит в том, чтобы на основе методов компьютерного зрения создать приложение для смартфонов для решения задач антропометрии. Сформулируем цели и задачи работы подробнее.

1.5 Основные результаты и выводы по главе 1

1. В первой главе анализируются алгоритмический подход и методы компьютерного зрения в извлечении антропометрических признаков со статических изображений и видеопоследовательностей. Излагаются алгоритмы построения опорных точек из 2D-изображений и видеопоследовательностей, рассматриваются принципы формирования антропометрических моделей на основе сопоставления опорных точек человеческого тела в построенных моделях.

2. В данной главе анализируются алгоритмический подход и методы компьютерного зрения в классификации антропометрических данных в изображениях и видеопоследовательностях. Включая:

– алгоритм Adaboost;

– нейронные сети;

– метод опорных векторов (МОВ).

3. Рассматриваются возможности использования алгоритмов ИАБТ и разрезов на графах для извлечения антропометрических признаков и алгоритм случайного леса для классификации антропометрических данных в изображениях и видеопоследовательностях.

4. На основе проведенного анализа сделан вывод об адекватности и точности использования комбинированных алгоритмов ИАБТ, разрезов на графах (Graph-cuts) для извлечения антропометрических признаков с использованием метода случайного леса (Random Forest) для классификации антропометрических данных в статических изображениях, видео в присутствии шума и в режиме близком к реальному времени. Такой подход позволил построить систему компьютерного зрения в антропометрии обладающую высокой точностью и скоростью обработки.

На основании сделанных выводов по первой главе выделим основные цели и задачи диссертационного исследования.

Система компьютерного зрения в антропометрии для смартфонов должна включать следующие три основных этапа:

– первый этап: извлечение антропометрических признаков и создание векторов антропометрических признаков;

– второй этап: классификация данных антропометрических признаков на основе данных из векторов признаков;

– третий этап: создание приложений для смартфонов на базе результатов классификации.

В данной работе осуществляется разработка алгоритмов, методов компьютерного зрения для извлечения признаков и классификации данных на изображениях и видеопоследовательностях, близких к реальному времени. Она актуальна из-за необходимости создания систем компьютерного зрения, которые имеют лучшую эффективность, высокую скорость обработки данных для смартфонов. Развитие этого направления может быть использовано для создания интеллектуальных приложений в областях моды, фитнеса и медицины.

Целью диссертации является разработка алгоритмов, методов компьютерного зрения в извлечении признаков и классификации антропометрических данных для построения зрительной системы для смартфонов.

Для достижения этих целей необходимо решить следующие задачи:

– выполнить анализ подходов с использованием алгоритмов, методов компьютерного зрения для извлечения антропометрических признаков с изображений и видеопоследовательностей и предложить наиболее подходящий подход для решения данной задачи;

– применить методы калибровки для повышения точности сегментации и местонахождения, измерять размеры частей человеческого тела путем анализа изображений и видеопоследовательностей;

– разработать и реализовать алгоритмы, программы извлечения и классификации антропометрических данных на основе синтеза алгоритмов и методов компьютерного зрения;

– провести оценку точности функционирования системы компьютерного зрения в антропометрии, получить апостериорные оценки сходимости предложенных численных методов;

– разработать приложения компьютерного зрения в антропометрии для моделирования одежды и проведения фитнес-тестировния.

2 Математические модели и алгоритмы компьютерного зрения в антропометрии

В этой главе излагаются принципы решения проблем приложения компьютерного зрения в задаче антропометрии, используя статические изображения видеопоследовательности в режиме реального времени. В этой главе решаются следующие задачи:

– разработка математических моделей и численных методов компьютерного зрения для извлечения антропометрических признаков;

– приложение математических моделей и численных методов машинного обучения для классификации антропометрических данных;

– разработка метода построения антропометрических моделей.

Ниже приведем описание алгоритмов и методов, используемых для обнаружения и классификации объектов, извлечения признаков на изображениях и видеопоследовательностях.

2.1 Обоснование исследования и приложения моделей на основе компьютерного зрения в антропометрии

В задаче математического моделирования тела человека на основе бесконтактных антропометрических измерений важнейшую роль играет синтез различных подходов, включая алгоритмы обнаружения объекта, алгоритмы извлечения признаков, алгоритмы классификации объектов. Разработка систем компьютерного зрения в антропометрии является целью данного диссертационного исследования.

Алгоритмы и методы компьютерного зрения являются не только необходимыми для создания системы программного обеспечения, но и важны для дальнейшего изучения преимуществ каждого алгоритма и метода, составляя теоретическую важность развития данного направления научных исследований. Для достижения высокой эффективности и скорости обработки видеоданных необ-

ходимо сочетание с другими алгоритмами. Условием выбора алгоритма является быстрая скорость обработки, которая удовлетворяет реальные потребности системы и сохраняет при этом ее точность.

Исследование алгоритмов и методов в области компьютерного зрения требует процесса анализа и оценки преимуществ и недостатков каждого алгоритма и метода. Необходимо четкое понимание структур системных операций, эффективность и точность каждого этапа функционирования всей системы. Нужно четко проанализировать систему, чтобы правильно выбрать алгоритм.

Автоматизация процесса извлечения антропометрических признаков (расположение и размер каждой части человеческого тела, как описано на рис. 1.2) является основой для эффективной работы всей системы. Результатом извлечения антропометрических признаков являются входные данные для классификации объектов и создания приложений для смартфонов.

Данные со статических изображений и видео, факторы окружающей среды (ограничения по разрешению камеры и шуму, условия регистрации, включая освещение, траекторию и скорость движения камеры и пр.) [36] будут влиять на этапы обработки, поэтому следует выбрать алгоритм, чтобы уменьшить влияние объективных факторов и сосредоточиться на объекте, подлежащем обработке. Для обеспечения высокой точности измерений требуется выполнение следующих условий: фон с простой текстурой (желательно однотонный), хорошее освещение сцены, человек должен быть одет в специальную плотно прилегающую одежду спортивного стиля для фитнеса. Надо подробно описывать важные части объекта для более точной и эффективной работы системы.

Целью работы была разработка автоматизированной мобильной измерительной системы, основанной на изображениях и видеопоследовательностях. Эта система использует методы и алгоритмы обработки изображений и машинного обучения компьютерного зрения.

Предложенная система состоит из трех основных частей: извлечение антропометрических признаков, процессов обучения и тестирования, классификация новых данных (рис. 2.1). Новизна нашего подхода заключаются в следующих пунктах:

– классификация антропометрических признаков на основе алгоритмов машинного обучения;

– разработка программного комплекса бесконтактной антропометрии для смартфона;

– создание антропометрических моделей человеческого тела на основе полученных антропометрических признаков.

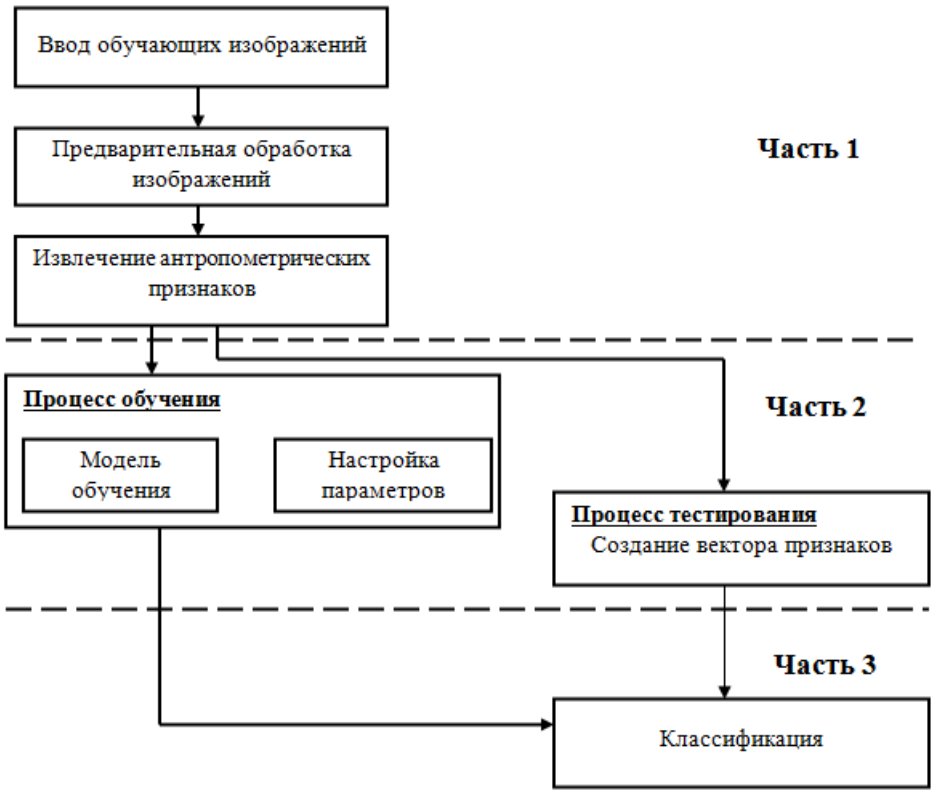


Рис. 2.1. Блок-схема антропометрической системы

2.2 Алгоритм извлечения антропометрических признаков из изображений и видеопоследовательностей

Для решения задачи извлечения антропометрических признаков предложен алгоритм, основанный на комбинации эффективных методов – технике предварительной обработки изображений, алгоритме вычитания фона, алгоритме сегментации изображений на основе разрезов на графах и итеративного алгоритма ближайших точек (см. рис. 2.2).

– предварительная обработка изображения: необходимо подавить шум, выполнить сглаживание изображения, провести эквализацию гистограммы, при-

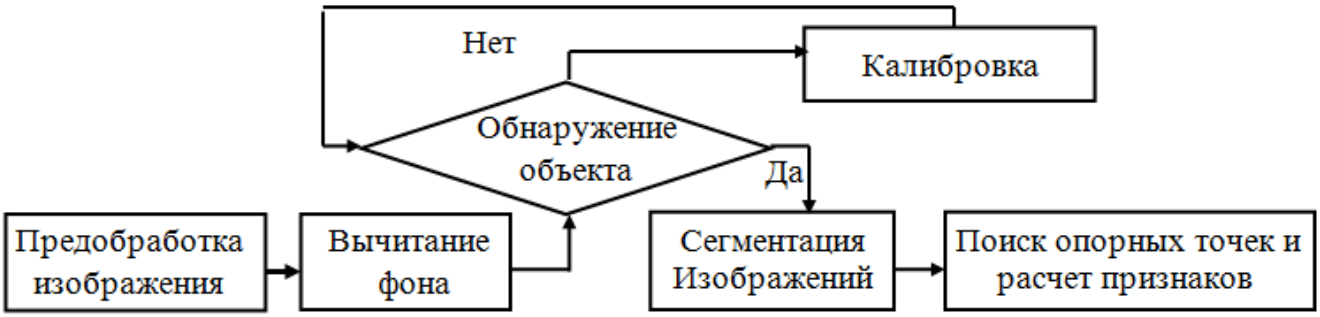


Рис. 2.2. Процесс извлечения антропометрических признаков

менить морфологические операторы для улучшения качества контура объекта (представлено в разделе 2.2.1);

– использование алгоритма вычитания фона для обнаружения объектов. На этом шаге применяется два различных алгоритма: вычитание фона и на основе метода порогового значения. Применение для изображений и видео, полученных с камеры (представлено в разделе в 2.2.2);

– использование алгоритма сегментации изображений и поиска ближайших точек границы, чтобы найти местонахождение и контуры частей человеческого тела. На этом шаге применяется алгоритм разрезов на графах для сегментации изображений и поиска частей человеческого тела, алгоритм обнаружения контура, итеративный алгоритм ближайших точек для определения и корректировки точек признаков, которые ближе всего к их фактическим границам;

– сравнительный анализ извлеченных признаков с реальными объектами для проверки точности методов и алгоритмов компьютерного зрения: на этом этапе будут сравниваться геометрические особенности частей человеческого тела с их настоящими частями, размеры которых были извлечены из реального тела, чтобы настроить соответствующие параметры.

В данной работе предложен метод извлечения антропометрических признаков из изображений и видео на основе алгоритмов компьютерного зрения предложенного подхода к задаче автоматического извлечения антропометрических признаков в режиме реального времени.

2.2.1 Предварительная обработка изображения

Фильтрация изображений с помощью гауссового фильтра

Шум является неотъемлемой частью любого устройства регистрации изображений и видео [21; 23; 24; 162]. Условно можно выделить следующие виды шума:

– шум устройств захвата изображения;

– смаз изображения, связанный с условиями регистрации, включая скорость и траекторию движения камеры;

– независимый случайный шум;

– отдельно отметим вмешательство наблюдения объектов.

В основе математической теории обработки изображений, включая фильтрацию, лежит понятие свертки (convolution) с определенным ядром (kernel, маска фильтра). Для того, чтобы выполнить преобразование была проведена «свертка» входного изображения с соответствующим (заранее выбранным) ядром. Со всеми пикселями в изображении проводятся свертка с ядром свертки (2.1) (центр окна свертки будет размещен в позиции пикселя, вычисляется свертка), изменение исходных значений пикселей.

$$Y(m,n) = X(m,n) * H(k,l) = \sum_{k=-r}^{r} \sum_{l=-r}^{r} X(m-k,n-l)\, H(k,l), \qquad (2.1)$$

где

– $X(m,n)$ – исходная матрица размера изображения $m * n$;

– $H(k,l)$ – матрица ядра свертки, также известная как маска;

– $Y(m,n)$ – выходная матрица свертки между X и H.

В данной работе использован фильтр Гаусса для удаления шума. Сущность этого преобразования состоит в реализации свертки изображения с ядром симметричной формы в виде 2-D функции Гаусса. Эта непрерывная функция определяется следующим образом:

$$f(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right). \qquad (2.2)$$

Теория линейной и нелинейной фильтрации изображений является областью проведения активных научных исследований [21–24].

Метод бинарной морфологии

В настоящее время методы цифровой обработки изображений привлекли внимание многих исследователей и разработчиков. Отдельно отметим методы морфологической обработки изображений (математической морфологии).

Морфологическая обработка изображений дает количественное описание структуры и геометрии объектов в изображении, основанной на математической теории множеств и топологии.

В приложениях компьютерного зрения морфологическая обработка используется для идентификации объектов, повышении качества изображения, сегментации изображения. Операции морфологической обработки выполняются в основном на бинарном изображении.

Структурные элементы [163]. В бинарном изображении структурный элемент $H(i,j)$ представляет собой базовое изображение, состоящее из двух значений 0 и 1, при этом 0 значения игнорируются в процессе вычисления, $H(i,j) \in \{0,1\}$.

Некоторые формы структурных элементов, обычно используемые в бинарном изображении (см. Рис. 2.3): горизонтальные и вертикальные линии, квадраты, эллипсы и пр.

Цель метода морфологической обработки – найти связанные компоненты контура объекта для получения «идеального» контура.

Операции дилатации, эрозии, открытия и закрытия могут быть применены для полутонового изображения. Эта концепция аналогична для бинарных морфологических операций.

$$g = (f \oplus b) - (f \ominus b), \tag{2.3}$$

где

– $f \oplus b$ является преобразованием расширения f по структурным элементам b в положении (x,y) по формуле:

$$[f \oplus b](x,y) = max_{(s,t)\in b}\{f(x-t,y-t)\}. \tag{2.4}$$

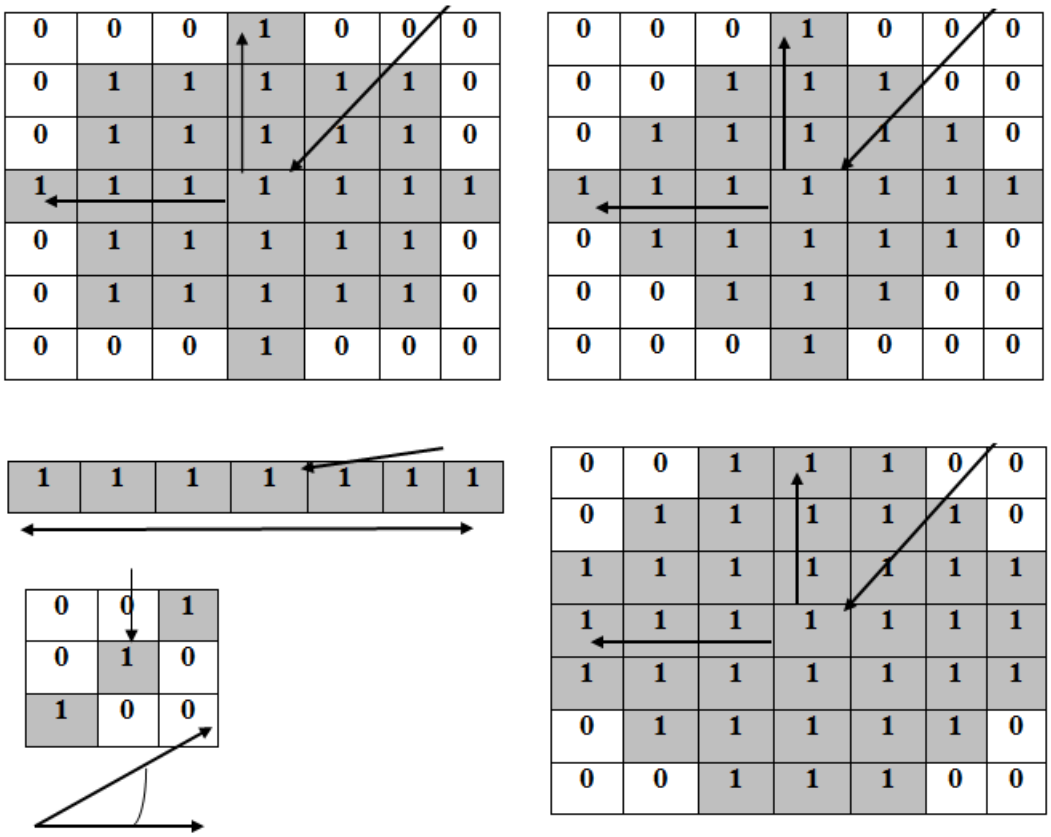


Рис. 2.3. Описание формы структурных элементов

– $f \ominus b$ является преобразованием эрозии растяжением f по структурным элементам b в положении (x,y) по формуле:

$$[f \ominus b]\,(x,y) = max_{(s,t)\in b}\,\{f\,(x+t,y+t)\}\,. \qquad (2.5)$$

Набор пикселей, которые соединяются с другими, называется компонентой связности [164]. Пиксели соединены друг с другом, которые отличаются от других групп пикселей назначенной им меткой. Эти метки представляют собой целые числа, где фон имеет значение 0, область изображения / группа взаимосвязанных пикселя помечена 1. В данной работе используются алгоритмы использующие 8-связные формы (рис. 2.4). Алгоритм включает в себя следующие этапы:

Шаг 1: сканирование входных изображений последовательно по строкам сверху-внизу, чтобы встретить ненулевую точку p в изображении;

Шаг 2: проверка соседей p. На основе этой информации, метка будет осуществляться следующим образом:

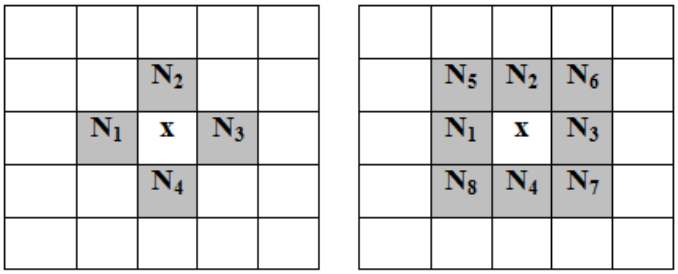


Рис. 2.4. Форма 4 соседей (N4) и 8 соседей (N8)

– если все соседи имеют значение нуль, то p присваивается новая, ранее не использовавшаяся метка;

– если имеется только один соседний пиксел p со значением 1, присваиваем эту метку пикселу p;

– если имеется больше чем один соседний пиксел p со значением 1, присваиваем метку любого из уже пронумерованных пикселей.

После завершения процесса сканирования соответствующие пары меток располагаются в соответствующие группы, и каждой группе будет присвоена только одна метка.

Метод эквализации гистограммы

При регистрации изображений и видео часто происходит дисбаланса света. Эта проблема может быть легко решена путем воздействия на источник света в случае лабораторных условий регистрации.

Настоящая работа направлена на создание практических приложений для смартфонов, которые могут работать в реальных условиях освещения. Таким образом, автоматический баланс яркости является необходимым требованием для разрабатываемого комплекса программ. Используется метод эквализации гистограммы для решения задачи.

Алгоритм эквализации гистограммы основан на простой идее и часто используется при обработке изображений. Цель эквализации гистограммы, как уже отмечалось выше, заключается в увеличении диапазона яркости изображения.

Эквализация гистограммы изображения g определяется следующим образом:

$$g_{i,j} = floor\left((L-1)\sum_{n=0}^{f_{i,j}} p_n\right), \qquad (2.6)$$

где

– f – исходное изображение;

– $n = 0,1,\ldots,L-1; L \in [0;255]$;

– p_n: количество пикселей по интенсивности n / количество пикселей;

– $floor()$ округляется до ближайшего целого числа. Это эквивалентно преобразованию интенсивности пикселей $k \in f$ с помощью функции:

$$T(k) = floor\left((L-1)\sum_{n=0}^{k} p_n\right). \quad (2.7)$$

Этот метод имеет преимущество простоты, легкости применения, без каких-либо серьезных расчетов.

2.2.2 Алгоритмы вычитания фона изображения для обнаружения объектов

Вычитание фона является одним из наиболее широко используемых алгоритмов в области компьютерного зрения [165]. Алгоритм используется для определения пикселей движущихся объектов в видео, также известных как передний план (FG – foreground), в то время как неподвижный объект называется фоном (BG – background). Алгоритм вычитания фона используется на этапе предварительной обработки во многих задачах компьютерного зрения. Результатом является область изображения, которая содержит человеческое тело (область интереса – ROI) (рис. 2.5). К извлеченной области далее применяется сегментация. В данной работе представлены решения задачи вычитания фона, такие как построение математической модели на основе гауссовой смешанной модели. Эта модель используется, чтобы обнаружить движущиеся объекты в текущем кадре. Проведено много исследований методов моделирования фона. Например в [166] авторы использовали адаптивную оценку плотности вероятности и получили хорошие результаты, однако, выявлены недостатки: требуется большой объем памяти, вычислительная сложность и скорость работы не соответствует реальному времени. В работе [167] Стауффер использовал гауссову смесь (Mixture of Gaussian) в построении модели фона для обнаружения движения.

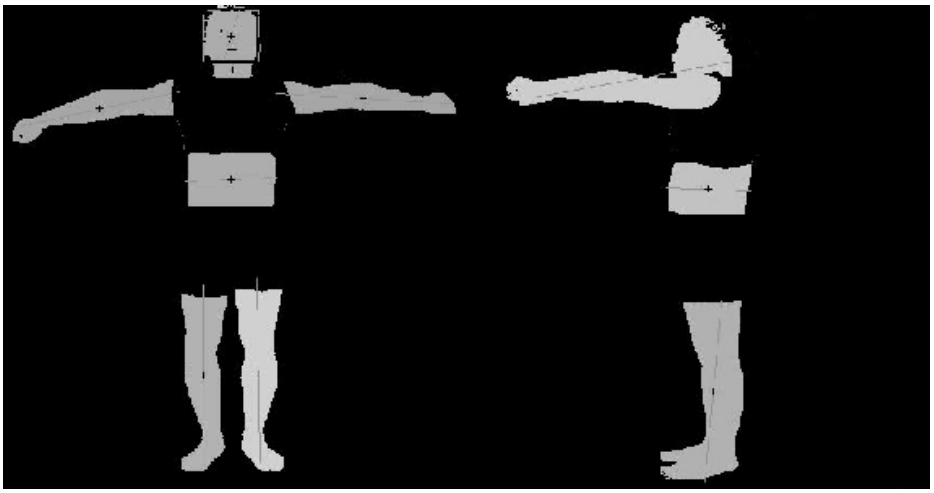


Рис. 2.5. Результат вычитания фона (область интереса – ROI)

Алгоритм вычитания фона основан на сравнении между двумя изображениями – переднего плана (FG) и фона (BG). Сцена картины фона получается, когда нет движения объекта. Обозначим за $FG(x,y)$ значения интенсивности пикселя с координатами (x,y) на переднем плане изображения, принадлежащие интервалу $[0,255]$ (8 бит), а за $BG(x,y)$ обозначим значения интенсивности фона изображения. Пиксель с координатами (x,y) располагается на переднем плане изображения, если он удовлетворяет оценке $|FG(x,y) - BG(x,y)| > T$, где $T(x,y)$ является пороговым значением. Таким образом, мы строим бинарную маску по следующему правилу: пиксели помечены 1 и являются объектом, если $|FG(x,y) - BG(x,y)| > T$ и не является объектом (метка 0), если $|FG(x,y) - BG(x,y)| < T$.

Модель фона постоянно обновляется для исходного кадра. На месте расположения пикселей на изображении разные кадры будут давать разные значения. Например, значение пикселя в позиции x на изображении фона отличается от значения пикселя в позиции x на изображении переднего плана.

$$BG_{n+1}(x,y) = \begin{cases} \alpha BG_n(x,y) + (1-\alpha) FG_n(x,y), (x,y) \in BG, \\ \beta BG_n(x,y) + (1-\beta) FG_n(x,y), (x,y) \in FG, \end{cases} \tag{2.8}$$

Пороговое значение пикселя в позиции (x,y) является:

$$T_{n+1}(x,y) = \begin{cases} \alpha T_n(x,y) + (1-\alpha) |FG_n(x,y) - BG_n(x,y)|, (x,y) \in BG, \\ T_n(x,y), (x,y) \in FG, \end{cases} \tag{2.9}$$

Параметры α, β выбираются из интервала [0,1] для обеспечения обновления фона в изображении и видео.

Для обновления фона в видео модель фона должна постоянно обновляться с помощью случайной выборки $X = \left\{x^{(t)},..., x^{(t-T)}\right\}$для оценки параметров модели. Метод максимального распределения (Maximize Posteriori) используется для оценки подходящих параметров в гауссовой модели по формуле:

$$\hat{\theta} = argmax_{\theta}\left\{\ln p\left(X|\theta\left(K\right)\right) + \ln p\left(\theta\left(K\right)\right)\right\}, \tag{2.10}$$

где

– π, K параметры модели;

– $p\left(\theta\left(K\right)\right)$ – функция распределения параметра $\pi\left(K\right) \equiv \{\pi_1, ..., \pi_K\}$, $\pi_i \in [0; 1]$.

2.2.3 Математическая модель на основе разрезов на графах для сегментации изображений

Математическая модель сегментации изображений на основе разрезов на графах

Многие задачи компьютерного зрения и обработки изображений могут быть сформулированы в виде задач дискретной оптимизации [168]. Предположим, что множество $S = \{s_i|i = 1, ..., n\}$ представляет собой область интереса, которую получили после вычитания фона. Сегментация определяется набором случайной величины $A = \{A_i|i = 1, ..., n\}$, $A_i \in L$ которого указывает маркировка s_i и $L = \left\{L_j|j = 1, ..., m\right\}$ является набором меток. Каждый ROI имеет области, которые содержит части человеческого тела: голова, шея, руки, ноги и тело. Проводится калибровка с учетом параметров камеры и параметра h (см. рис. 2.6).

Численный метод для сегментации изображений на основе разрезов на графах

Одним из эффективных методов сегментации является метод минимального разреза – максимального потока. В этом случае алгоритм трактует всё

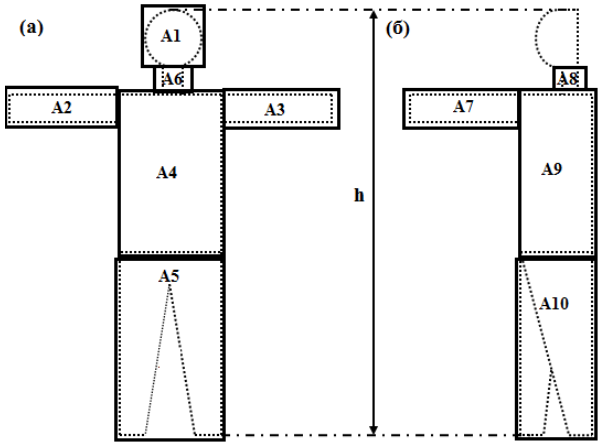


Рис. 2.6. Моделирование телосложения для сегментации изображения. h (рост) – параметр калибровки

изображение как граф $G\,(V\,,E)$. Элементы множества V называются вершинами-пикселями графа, а пары из E — его рёбрами. В полученном графе находится минимальный разрез, который делит граф на 2 части.

Алгоритм сегментации частей человеческого тела на основе разницы между пикселями p и q основан на формуле:

$$D_{p,q} = \exp\left(\frac{-\left|C_p - C_q\right|}{2 * \delta^2}\right) * \frac{1}{dist\,(p,q)}, \tag{2.11}$$

где C_p, C_q – знечения пикселей p и q, δ – настраиваемый параметр, а $dist\,(p,q)$ — евклидово расстояние между пикселями p и q.

Для сегментации изображений методом разрезов на графах необходимо определить количество областей изображений. Далее, алгоритм 3 используется, чтобы разделить изображение на области. Такие области содержат части человеческого тела. Минимальный разрез описывает границы между различными регионами по всему изображению. Пиксели, попавшие в один подграф с истоком, считаются областями частей человеческого тела, остальные пиксели признаются областями, где нет частей человеческого тела, как показано на Рис. 2.7. Результаты сегментации используются далее на этапе обработки и анализа контура каждой части человеческого тела.

Исходные данные: Граф $G(V,E)$ с емкостью c, исток s, сток t.
Результат: Максимальный поток от источника (s) до стока (t)
1. **for** $i := 1$ *для всех ребер* (u,v) **do**
 | $f(u,v) \leftarrow 0$
end
2. **if** $c_f(u,v) > 0$ *для всех ребер* $(u,v) \in p$ **then**
 | $c_f(p) = min\{c_f(u,v) \mid (u,v) \in p\}$;
else
 | todo 1;
end
3. **for** $i := 1$ *для всех ребер* (u,v) **do**
 | $f(u,v) \leftarrow f(u,v) + c_f(p)$;
end

Алгоритм 3: Описание алгоритма разрезов на графах

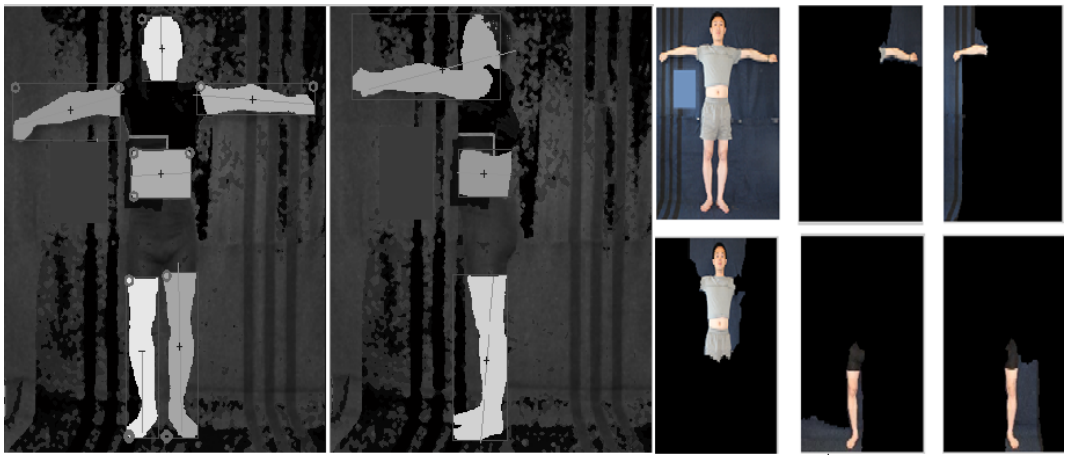


Рис. 2.7. Результат сегментации на основе разрезов на графах

2.2.4 Итеративный алгоритм ближайших точек

В данной работе алгоритм ИАБТ используется для уменьшения отклонения конкретных точек на контуре каждой из 6 человеческой частей согласно рис. 2.6. Созданный набор признаков используется для сравнения с множеством точек, извлечённых с объекта. Для простого сравнения потребуется время и ресурсы системы. Форма движения и шум оказывают существенное влияние на результаты. Таким образом, чтобы преодолеть эту проблему используется алгоритм ИАБТ, уменьшающий различия между этими двумя наборами точек.

Математическая модель построения опорных точек на основе итеративного алгоритма ближайших точек

Пусть $A = \{a_i | i = 1, ..., n\}$ представляет собой набор точек контура частей человеческого тела. $B = \{b_i | i = 1, ..., m\}$ является модельным набором координат (т.н. облаком) для обнаружения искомых опорных точек. Цель алгоритма ИАБТ состоит в поиске набора точек, доставляющих минимум расстояния между наборами A и B:

$$T \leftarrow argmin_T \left\{ \sum_i^n w_i \left\| T * b_i - m_i \right\|^2 \right\}, \tag{2.12}$$

где T – итоговое преобразование для обнаружения опорных точек в A по Алгоритму 4. Поиск итогового расположения опорных точек на найденных опорных контурах для каждой ROI (рис. 2.6) осуществляется согласно ГОСТ [61; 62].

Численный метод для построения опорных точек на основе итерационного алгоритма ближайших точек

Полученным результатом является набор опорных точек объекта, находящихся близко к контуру тела человека уточнения контура проведено с помощью алгоритма ИАБТ.

Исходные данные: 2 облака точек $A = \{a_i\}$, $B = \{b_i\}$; начальное преобразование T_0
Результат: итоговое преобразование T для обнаружения опорных точек в A

$T \leftarrow T_0$;
while *не сходится* **do**
  for $i \leftarrow 1$ *to* n **do**
    $m_i \leftarrow$ Найти ближайшие точки в A к $T * b_i$;
    if $\|m_i - T * b_i\| \leq d_{max}$ **then**
      $w_i \leftarrow 1$;
    else
      $w_i \leftarrow 0$;
    end
  end
  $T \leftarrow argmin_T \left\{ \sum_i w_i \left\| T * b_i - m_i \right\|^2 \right\}$;
  $n = n + 1$;
end

Алгоритм 4: Описание алгоритма ИАБТ

В набор опорных точек, найденных на объекте, 28 точек получены с учетом геометрии контуров моделируемых частей (см. рис. 2.6). Алгоритм включает в себя основные шаги:

– шаг 1: вычислим соответствия между двумя наборами точек;

– шаг 2: выполним преобразование, которое сводит к минимуму расстояние между соответствующими точками.

Используем соответствующее максимальное пороговое значение d_{max}. Здесь d_{max} представляет собой баланс между сходимостью и точностью. Этапы алгоритма ИАБТ выполнются последовательно. Алгоритм остановится, если имеет место сходимость (наименьшая ошибка и стабильность). Алгоритм ИАБТ в наших условиях всегда монотонно сходится на интервале области определения функции [114]. Тем не менее, эффективность алгоритма зависит от настройки. В то же время, новые точки признаков абсолютно совпадают с точками признаков в базе данных.

Расчеты проводятся с использованием евклидова расстояния. С такими антропометрическими признаками, как длина руки, длина плеча и т. д. (несложная геометрия) использовалось непосредственно евклидово расстояние между соответствующими опорными точками. Для извлечения антропометрических признаков со сложной структурой (талия, грудь, бедро) необходимо было использовать больше опорных точек и вычислить периметр вписанных замкнутых кривых (рис. 2.8).

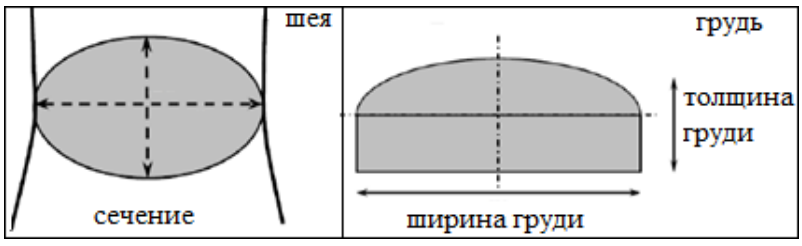


Рис. 2.8. Примеры моделирования для расчетов обхватов шеи и груди

2.3 Приложение алгоритмов компьютерного зрения для извлечения антропометрических признаков

2.3.1 Извлечение антропометрических признаков на основе анализа изображений

В результате проведенного анализа в разделе 2.2 установлено, что на основе алгоритма компьютерного зрения включает в себя следующие этапы (рис 2.9) для извлечения антропометрических признаков на изображения:

– **Шаг 1:** предварительная обработка изображения. Подавление шума линейным фильтром Гаусса; используем морфологические операторы – дилатации, чтобы улучшить качество точек изображения со структурами элементов; эквализация гистограммы.

– **Шаг 2:** обнаружение объекта и человеческого лица. Важную роль на этом шаге играет алгоритм вычитания фона. Расчетные значения пикселей на разных кадрах получаем по формуле (2.8);

Метод Виола-Джонса [132; 133] используется для обнаружения человеческого лица. Метод состоит из трех основных этапов: интегральном представлении изображения, метод построения классификатора на основе алгоритма адаптивного бустинга (AdaBoost) и метод комбинирования классификаторов в каскадную структуру.

– **Шаг 3:** сегментация изображения методом разрезов на графах. Поиск области изображения, содержащего части тела человека на основе алгоритма (3);

– **Шаг 4:** обнаружение контура и поиск опорных точек с помощью алгоритма ИАБТ. Расчеты проводятся с использованием евклидова расстояния;

– **Шаг 5:** создание антропометрического вектора признаков.

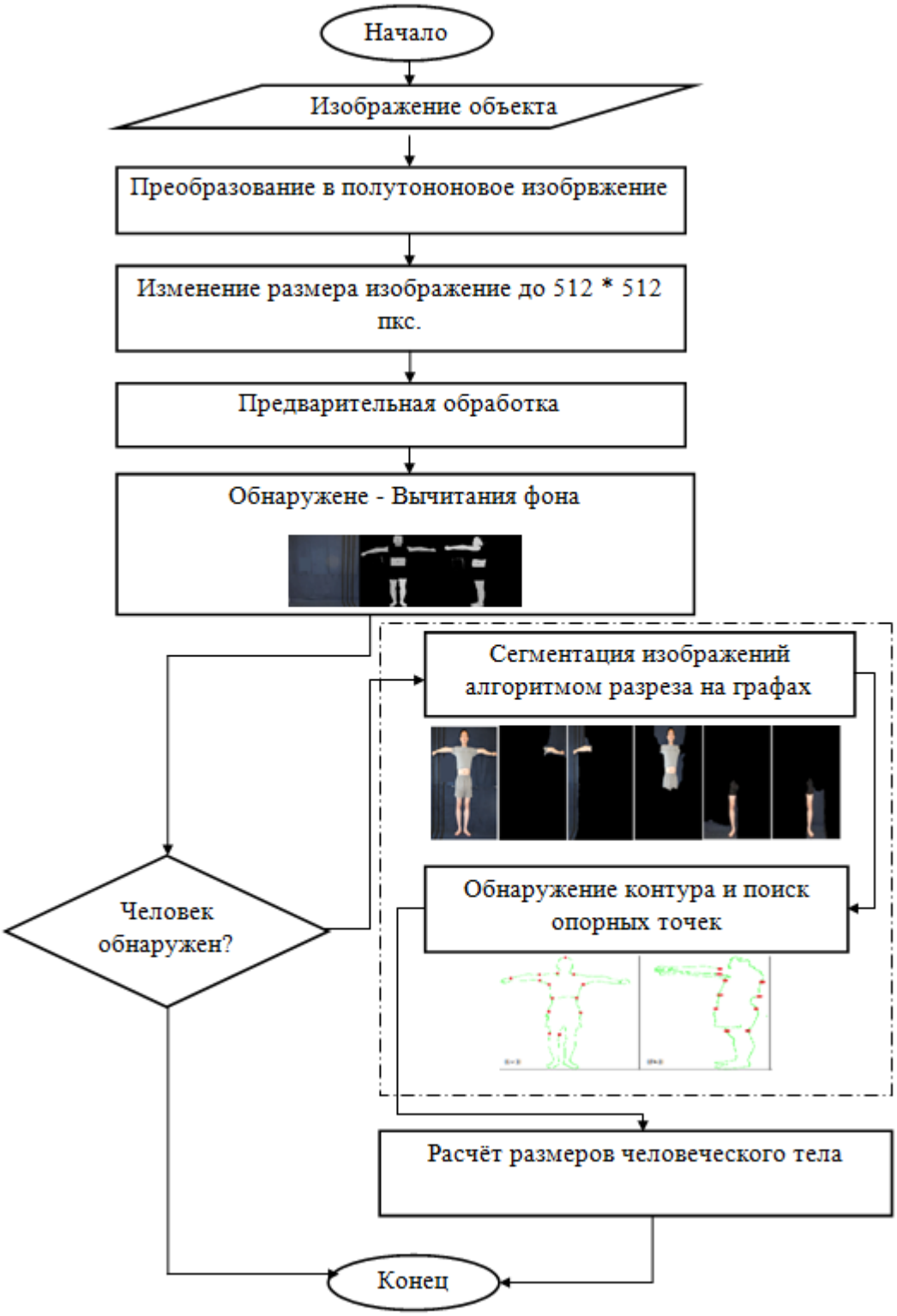


Рис. 2.9. Блок-схема алгоритма извлечения антропометрических признаков на изображениях

2.3.2 Извлечение антропометрических признаков на основе анализа видеопоследовательностей

В данной работе рассматривается задача извлечения антропометрических признаков объектов на видеопоследовательностях. Для решения этой задачи предложен алгоритм, основанный на совместном применении предложенного алгоритма компьютерного зрения статических изображений и метода Виолы-Джонса для поиска области расположения тела человека. Используется 10 кадров видеопоследовательностей. Рис. 2.10 описывает основные этапы этого процесса.

– **Шаг 1:** представление каждого из 10 кадров обучающей выборки в виде полутонового изображения;

– **Шаг 2:** предварительная обработка изображения;

– **Шаг 3:** применение к каждому полутоновому изображению метода Виолы-Джонса для поиска области тела человекого;

– **Шаг 4:** сегментация изображения методом разрезов на графах. Поиск области изображения, содержащего части тела человека на основе алгоритма (3);

– **Шаг 5:** обнаружение контура и поиск опорных точек с помощью алгоритма ИАБТ. Расчеты проводятся с использованием евклидова расстояния;

– **Шаг 6:** создание антропометрического вектора признаков.

2.4 Оценка точности численного метода извлечения антропометрических признаков

Для оценки эффективности и вычисления технической погрешности измерений при извлечении антропометрических признаков применяются следующие формулы: корень относительной среднеквадратической ошибки (RRMSE), средняя абсолютная ошибка (MAPE), техническая погрешность измерения (TEM). Было экспериментально установлено, что распределения погрешностей изме-

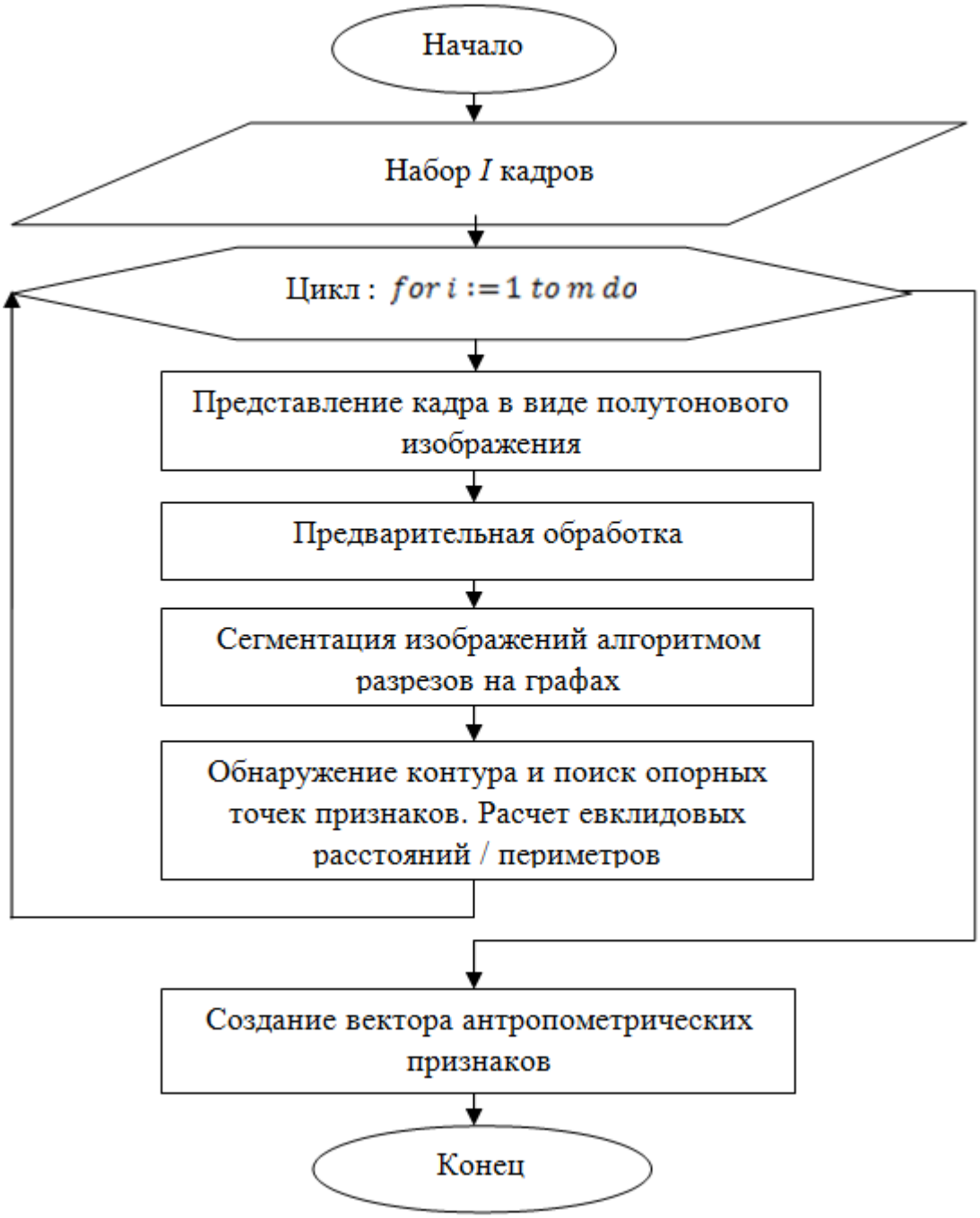


Рис. 2.10. Блок-схема алгоритма извлечения антропометрических признаков на видеопоследовательностях

рений подчиняются нормальному закону. Для этих целей было проведено 100 испытаний (снятие размеров антропометрических признаков: обхват груди, обхват талии, обхват бедер, длина руки, обхват бицепса, обхват шеи, длина спины, длина плеча, ширина плеча, высота груди). Получена гистограмма технической погрешности измерений, представленной на рис. 2.12, рис. 2.14.

Корень относительной среднеквадратической ошибки (Root relative mean square error – RRMSE).

$$\varepsilon_{rel} = \left\{ \frac{\sum_{j=1}^{12} \left(\widetilde{z}_j - z_j\right)^2}{\sum_{j=1}^{12} z_j^2} \right\}^{1/2} = \frac{\|\widetilde{z} - z\|_2}{\|z\|_2}, \tag{2.13}$$

где

$$\|z\|_2 = \sqrt{\sum_{j=1}^{12} \left|z_j\right|^2} = \sqrt{(z, z)}, \tag{2.14}$$

– $\widetilde{z}_j$ – результат измерений с помощью разработанного приложения;

– z_j – результат измерений, рассчитанных вручную.

Также были проанализированы технические погрешности каждого из требуемых измерений. Так Рис. 2.11 демонстрирует закон распределения технической погрешности измерения ширины плеча. Здесь также значения среднего арифметического и медианы близки, а скошенность лежит в интервале $[-1; 1]$.

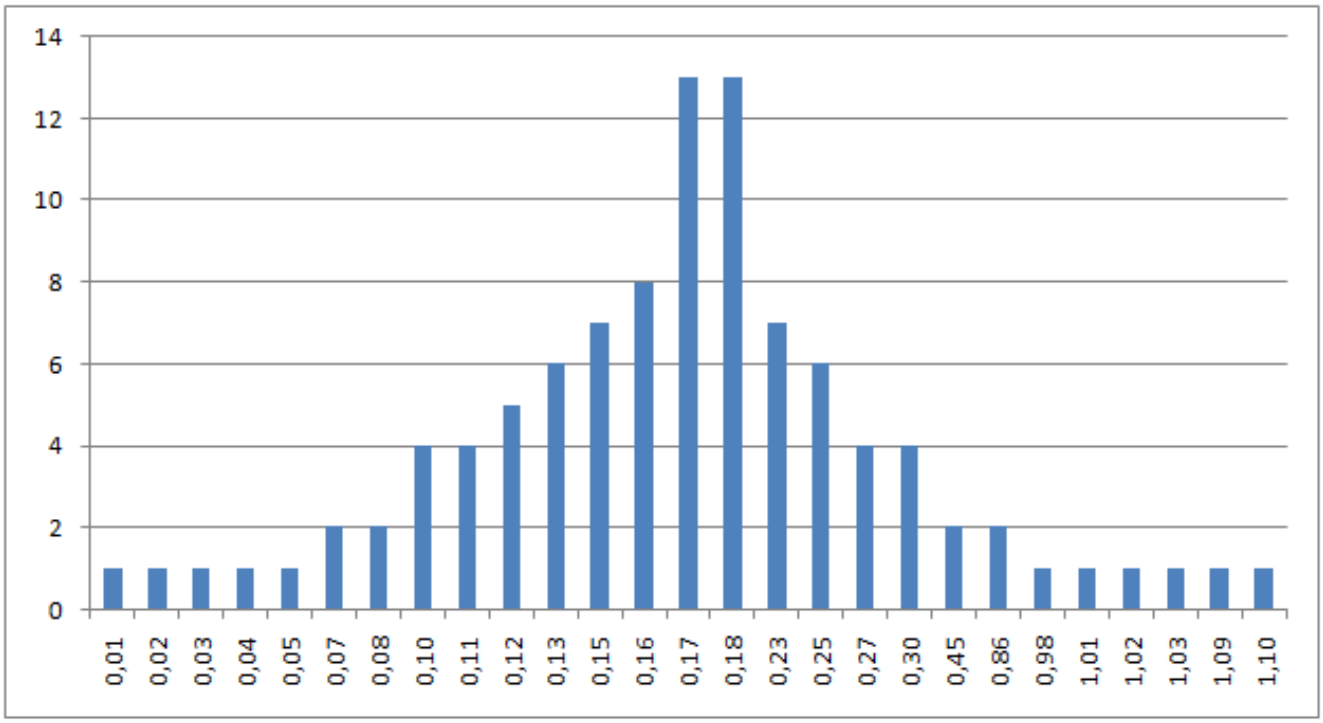


Рис. 2.11. Закон распределения технической погрешности измерения ширины плеча

На рис. 2.12 показано, что среднее арифметическое 0.01239, медиана 0.01274 и скошенность 0.198. Как видно, в этом распределении среднее арифметическое и медиана приблизительно равны, скошенность лежит на отрезке $[-1; 1]$. На основании критерия Колмогорова-Смирнова с значением значимости $0.068 > 0.05$ можно заключить, что погрешность измерений имеет распределение близкое к нормальному закону (распределение Гаусса).

Статистика

Среднее арифметическое	0.01239
Медиана	0.01274
Отклонение	0.00222
Скошенность	0.198
Ошибка скошенности	0.241

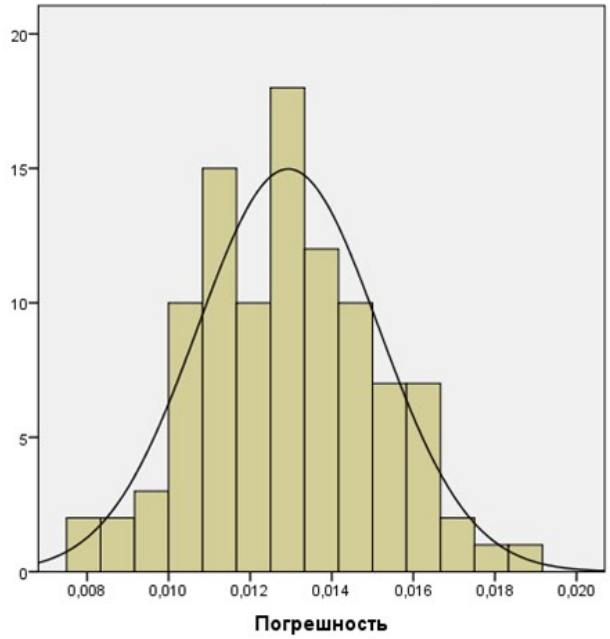


Рис. 2.12. Закон распределения погрешности измерений по формуле (2.13)

Анализ апостериорной оценки погрешности. Для оценки порядка сходимости экспериментально установлена линейная сходимость предложенного численного метода на основе анализа апостериорной оценки погрешности при увеличении разрешения исходных изображений.

На рис. 2.13 описаны значения *RRMSE* разрешений исходных изображений $2^N \times 2^N$ ($N = 8, 9, 10, 11$). Следуя [24], введём определение порядка сходимости:

$$R_N = \frac{\log_2 D_N}{\log_2 D_{2N}}, \tag{2.15}$$

где D_N – значения *RRMSE* для изображений с разрешением $N \times N$.

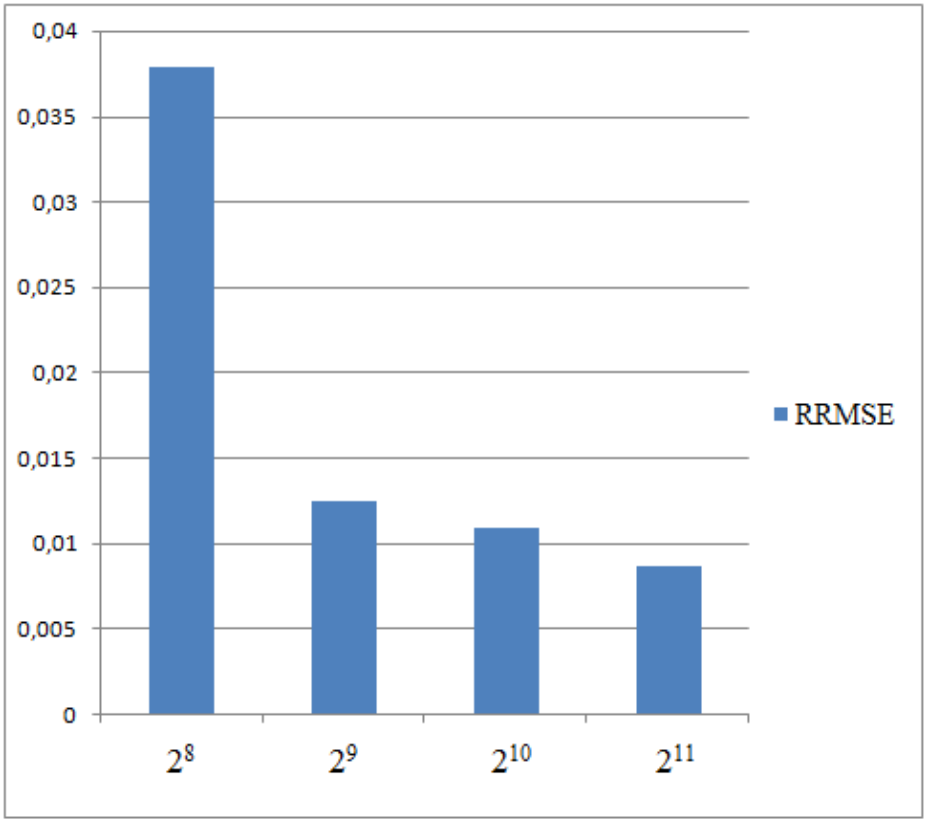


Рис. 2.13. Погрешности по формуле (2.13) для различных разрешений

Таблица 2.1 содержит информацию о порядке сходимости R_N для различных значений 2^N. Как видно из Табл. 2.1 разработанный численный метод обладает первым порядком сходимости.

Таблица 2.1

Результат анализа апостериорной оценки погрешности

N	2^N	R_N
8	256	0.746938
9	512	0.970060
10	1024	0.951757

На рис. 2.14 показано, что среднее арифметическое 0.19131, медиана 0.18512 и скошенность 0.460. В этом распределении среднее арифметическое и медиана приблизительно равны, скошенность лежит на отрезке $[-1; 1]$. На основании критерия Колмогорова-Смирнова с значением значимости $0.073 > 0.05$ можно заключить, что погрешность измерений вычисленная по формуле (2.16) имеет распределение близкое к нормальному закону (распределение Гаусса).

Средняя абсолютная ошибка (Mean absolute percentage error – MAPE).

$$M = \frac{1}{12}\sum_{j=1}^{12}\left|\frac{z_j - \tilde{z}_j}{z_j}\right|, \tag{2.16}$$

где z_j – результат измерений, рассчитанных вручную; $\tilde{z}_j$ – результат измерений с помощью разработанного приложения.

Статистика

Среднее арифметическое	0.19131
Медиана	0.18512
Отклонение	0.034058
Скошенность	0.460
Ошибка скошенности	0.241

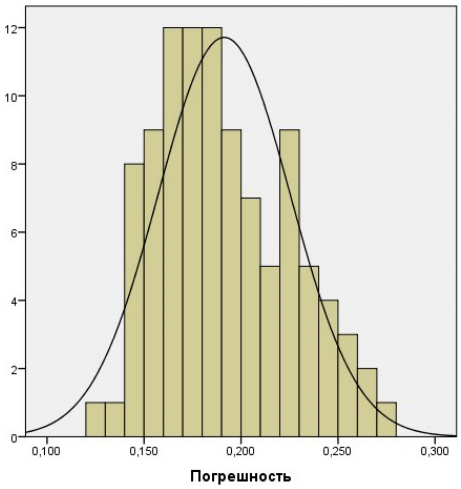


Рис. 2.14. Закон распределения погрешности измерений по формуле (2.16)

Техническая погрешность измерения (technical error of measurement – TEM) [169]. Значение TEM используется для проверки стабильности предложенной авторами антропометрической системы.

$$TEM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{100}\left(\sum_{j=1}^{12} M_j^2 - \left(\sum_{j=1}^{12} M_j\right)^2\right)}{N\,(K-1)}}, \tag{2.17}$$

где $N = 100$ – количество выполнения измерений; $K = 12$ – количество антропометрических признаков; M – измерение признаков.

Анализ результата 100 измерений $\sum_{i=1}^{100}\left(\sum_{j=1}^{12} M_j^2 - \left(\sum_{j=1}^{1} 2M_j\right)^2\right) = 98.293$. На основе формулы (2.17) получаем $TEM = 0.299$. Ручные измерения в ней не учитываются, и такая метрика позволяет оценивать устойчивость метода, не используя ручные измерения, которые не являются абсолютно точными и сами подвержены ошибке.

В работе [170] был получен $TEM = 0.3$. На основании этого можно сделать вывод, что наша система стабильно работает и измерения обладают неболь-

шой погрешностью. Проведенный анализ показал, что выбор оптимального числа опорных точек не является тривиальной задачей. Опорные точки описывают расположение точек, лежащих на контуре объекта. В диссертационной работе проведены эксперименты с различными количествами опорных точек. Отметим, что особенно трудными областями являются области груди, талии и бедер.

Случай 1: Результат извлечения 24 опорных точек на контуре человеческого тела. Иллюстрация расположения опорных точек (рис. 2.15):

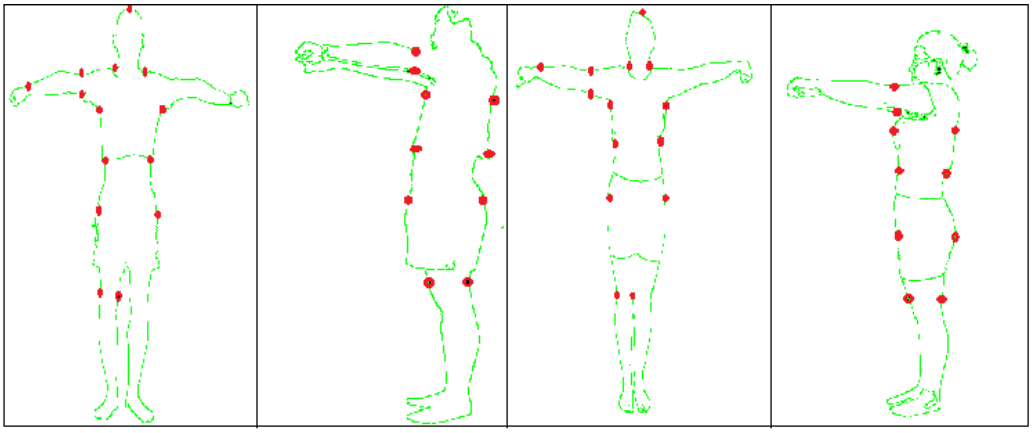


Рис. 2.15. Результат обнаружения 24 опорных точек [171; 172]

Количество опорных точек в этом случае включает в себя 24 точки для локализации головы, шеи, рук, плеча, груди, талии, бедер, бицепсов. Результат извлечения антропометрических признаков при использовании 24 опорных точек представлен в таблице 2.2.

Случай 2: Применение метода калибровки с 28 опорными точками для улучшения точности извлечения признаков (рис. 2.16).

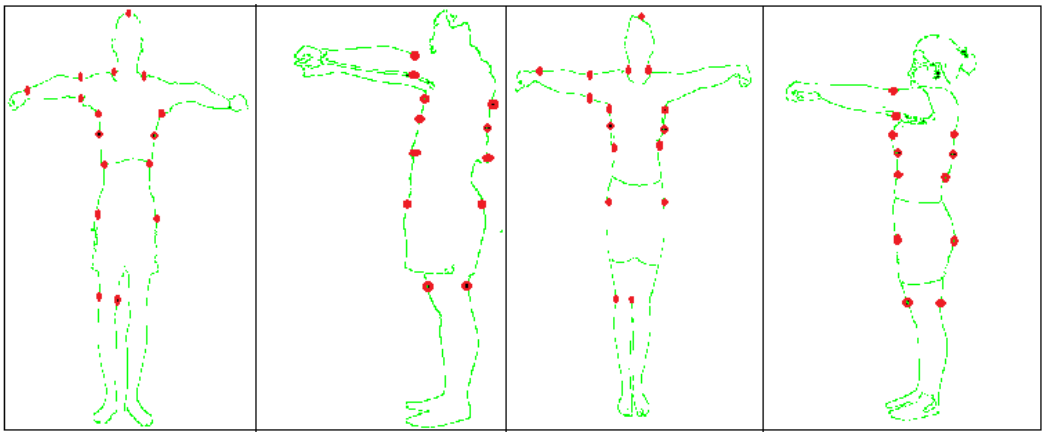


Рис. 2.16. Результат обнаружения 28 опорных точек [171; 172]

Количество опорных точек в этом случае включает в себя 28 точек для локализации головы, шеи, рук, плеча, груди (верхней и нижней), талии, бедер,

Таблица 2.2

Результат извлечения антропометрических признаков и погрешности системы компьютерного зрения при использовании 24 опорных точек [171; 172]

Размеры	Ручной метод (см)	Результаты системы (см)			$\lvert\widetilde{z}_j - z_j\rvert$
		1	2	3	
Длина руки	53	52.45	54.32	54.72	0.291
Высота талии	22	20.18	19.08	19.86	0.436
Обхват бедер	96.5	93.07	95.19	95.78	0.770
Обхват груди	95	93.65	94.11	93.32	0.902
Обхват бицепса	28	25.68	27.09	27.60	0.338
Обхват шеи	37	35.71	36.67	36.79	0.150
Длина спины	40	38.50	40.11	40.01	0.750
Длина плеча	36	35.86	36.19	35.50	0.241
Ширина плеча	14	13.91	13.56	14.74	0.241
Высота груди	18	17.78	17.60	17.86	0.562
Обхват талии	79	76.06	78.80	80.15	0.810

бицепсов. Результат извлечения антропометрических признаков при использовании 28 опорных точек представлен в таблице 2.3.

Таблица 2.3

Результат извлечения антропометрических признаков и погрешности системы компьютерного зрения после применения калибровки извлеченных 28 опорных точек [171; 172]

Размеры	Ручной метод (см)	Результаты системы (см)			$\lvert\widetilde{z}_j - z_j\rvert$
		1	2	3	
Длина руки	53	52.93	52.1	52.93	0.166
Высота талии	22	21.78	22.08	21.86	0.292
Обхват бедер	96.5	97.29	96.11	96.4	0.680
Обхват груди	95	95.03	95.00	95.02	0.784
Обхват бицепса	28	28.24	28.03	28.07	0.285
Обхват шеи	37	38.35	38.13	38.05	0.107
Длина спины	40	38.35	39.96	39.81	0.648
Длина плеча	36	35.86	36.19	35.50	0.201
Ширина плеча	14	13.97	14.02	14.02	0.223
Высота груди	18	18.05	18.11	18.01	0.545
Обхват талии	79	78.46	79.05	78.89	0.750

Погрешность и точность извлечения антропометрических признаков при использовании 24 и 28 опорных точек представлены на рис. 2.17 и рис. 2.18.

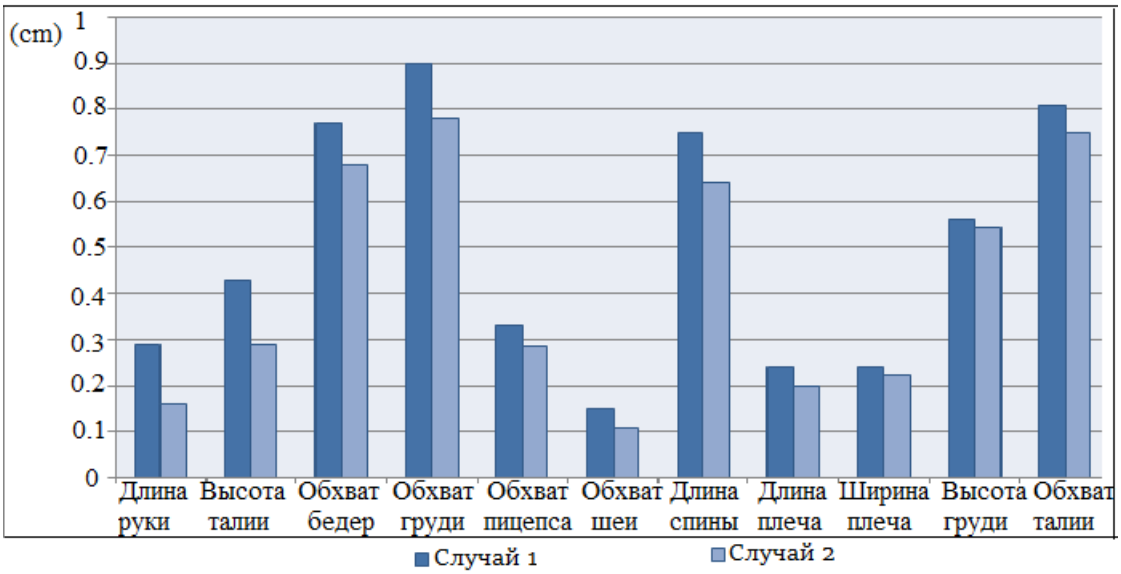
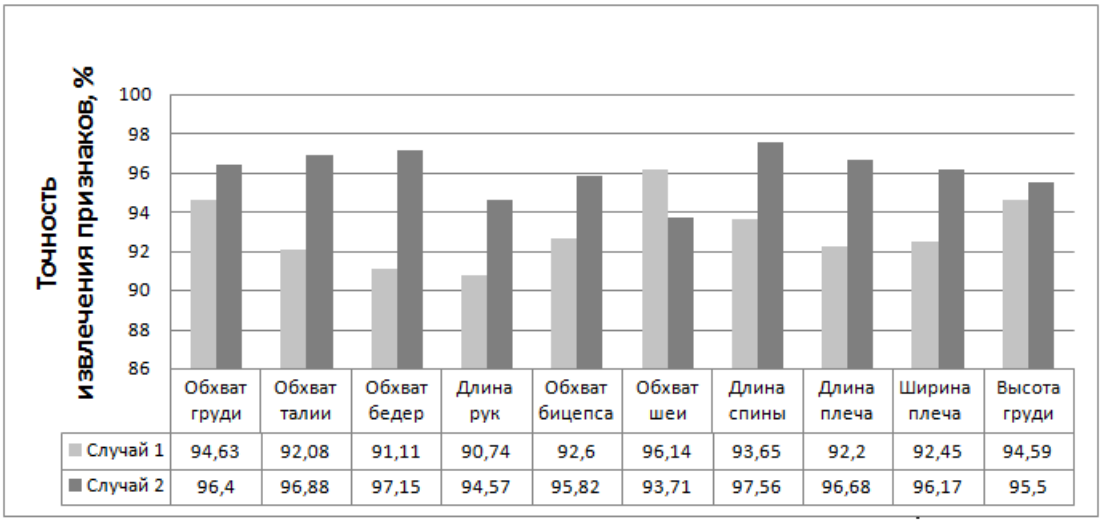


Рис. 2.17. Погрешность в двух случаях в извлечении антропометрических признаков. Случай 1: используется 24 опорных точек на контуре человеческого тела. Случай 2: используется 28 опорных точек на контуре человеческого тела



	Обхват груди	Обхват талии	Обхват бедер	Длина рук	Обхват бицепса	Обхват шеи	Длина спины	Длина плеча	Ширина плеча	Высота груди
Случай 1	94,63	92,08	91,11	90,74	92,6	96,14	93,65	92,2	92,45	94,59
Случай 2	96,4	96,88	97,15	94,57	95,82	93,71	97,56	96,68	96,17	95,5

Рис. 2.18. Точность извлечения признаков на основе погрешности MAPE. Случай 1: используется 24 опорных точек на контуре человеческого тела. Случай 2: используется 28 опорных точек на контуре человеческого тела

2.5 Математическое моделирование типов телосложения: приложение алгоритма случайного леса для классификации антропометрических данных

Математическая модель для классификации антропометрических данных

Для построения антропометрических моделей экспериментальным путем было выявлено пять характеристических типов телосложения, по которым проводилась классификация. Каждый тип телосложения в свою очередь позволил строить 5 моделей.

Кратко изложим адаптированную математическую модель для классификации антропометрических данных с помощью алгоритма случайного леса (Random Forest) (L. Breiman 2001). Пусть задан набор объектов $D = \{d_i | i = 1, ..., N\}$, $X = \{x_i | i = 1, ..., 13\}$ – набор антропометрических вектор-признаков и $Y = \{y_i | i = 1, ..., 5\}$ – набор меток ключевых типов телосложения. Модель обучения и тестирования использована для классификации объектов по меткам Y. Критерий качества построения решающих деревьев основан на индексе Джини:

$$Gini = N_L \sum_{i=1}^{k} p_{kL} (1 - p_{kL}) + N_R \sum_{i=1}^{k} p_{kR} (1 - p_{kR}), \tag{2.18}$$

где p_{kL} – доля класса K в левом узле (N_L), p_{kR} – доля класса K в правом узле (N_R). Предлагается алгоритм оценки и поиска набора признаков из исходного набора признаков. Алгоритм случайного леса состоит из двух основных этапов: обучение и тестирование.

2.5.1 Предложенная модель и предложенный алгоритм

Архитектура (рис. 2.19) системы состоит из двух основных частей. Часть 1 используется, чтобы найти набор лучших признаков. Система генерирует наборы признаков, а затем использует алгоритм машинного обучения Random Forest

для оценки таких наборов. Этот процесс повторяется до удовлетворения условий, чтобы остановить систему и получить набор оптимальных признаков. Часть 2 используется, чтобы проверить подходит ли данная модель. Подобный подход развит Лео Брейманом и Адель Катлер в работе [152].

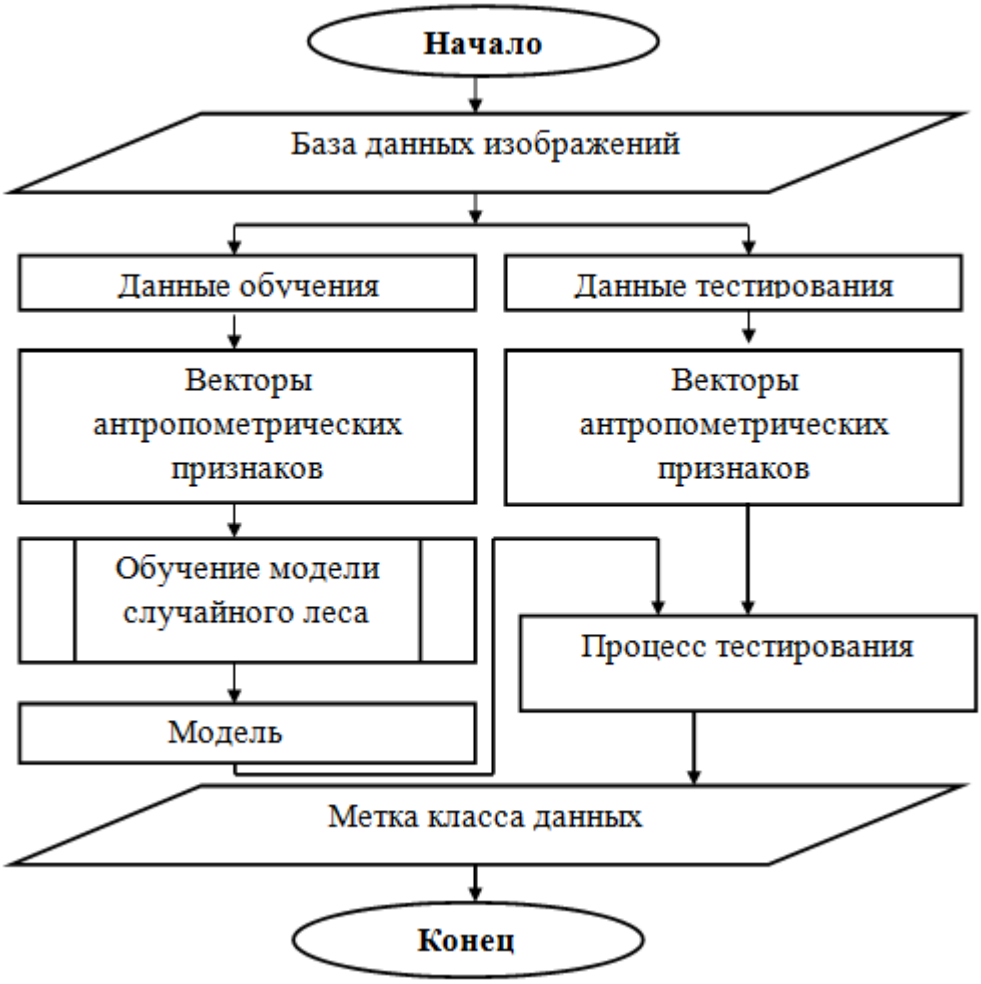


Рис. 2.19. Предложенная модель

В данной работе предлагается алгоритм случайного леса для классификации измерений для построения антропометрических моделей на основе оценки и поиска набора антропометрических признаков из исходного набора признаков. Обозначим за D – множество объектов (количество изображений людей). Процесс обучения осуществляется следующим образом:

– взять из D n случайных объектов с повторениями (bootstrap sample) – D_i;

– построить для D_i дерево, используя алгоритм «дерево классификации и регрессии» (CART) для построения решающего дерева. Причем для каждой вершины признак выбирается из m случайно выбранных (m – параметр, $1 \leq m \leq p$);

– дерево строится до конца, без отсечения ветвей;

– повторить предыдущие шаги B раз.

В итоге строится B деревьев. Для проверки новых наборов антропометрических данных используются модификации известных алгоритмов обучения, учитывающих специфику задачи.

Изложенное выше направление рекомендуется для того, чтобы найти набор оптимальных признаков не высокой размерности. Эти первоначальные признаки разделены для обеспечения всех выбранных признаков. Затем в сочетании с делением случайных признаков создаются новые малые наборы признаков. Дальше алгоритм машинного обучения случайного леса используется для вычисления актуальности набора признаков в определенном смысле оптимальное.

2.5.2 Формирование опорных точек с признаками объектной принадлежности

В этом разделе представлен подход к реконструкции антропометрических моделей человека на основе антропометрических признаков, которые были предварительно извлечены и классифицированы. Использован набор данных антропометрических признаков для построения 3D-моделей телосложения (см. рис. 2.20).

Процесс построения антропометрических моделей включает следующие шаги:

– шаг 1: описание текстурных характеристик человеческого тела, а также текстуры одежды;

– шаг 2: разработка моделей частей человеческого тела (голова, туловище, руки, ноги) с использованием ранее полученных антропометрических признаков;

– шаг 3: комбинация текстуры и частей человеческого тела в блок;

– шаг 4: экспорт антропометрических моделей человеческого тела в два файла: первый файл (*.mtl) описывает текстуры модели, второй файл (*.obj) содержает информацию каждой модели.

Алгоритм для соответствия 3D-модели с антропометрическими признаками:

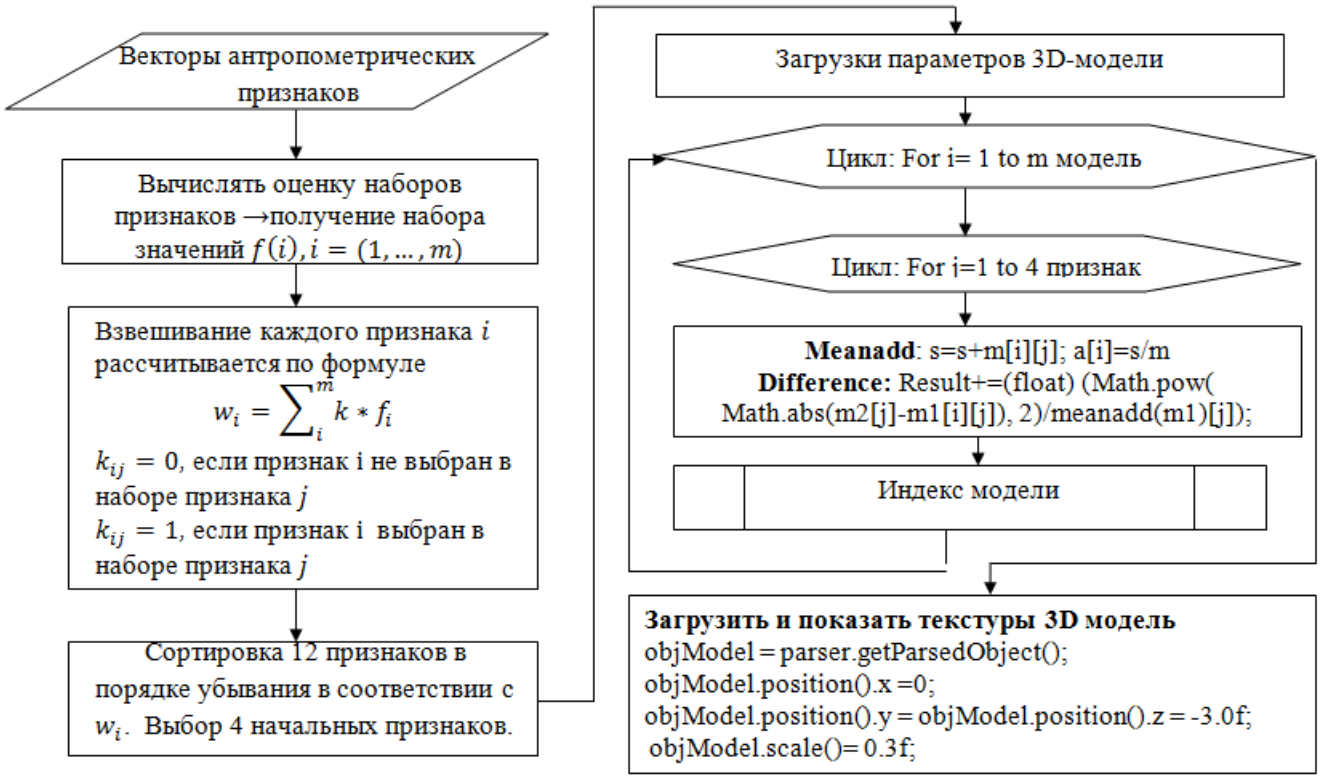


Рис. 2.20. Загрузить и показать текстуры в 3D модели

Результаты и анализ экспериментов на наборах антропометрических данных.

Часть 1: обучение базового алгоритма случайного леса на наборах антропометрических данных выполнены 5 раз с использованием библиотеки Weka [173]. Каждый запуск предполагает выполнение проверок с количеством деревьев соответственно 100, 200, 300, 400, 500, результат представлен в таблице 2.4.

Часть 2: выбор набора оптимальных данных из наборов антропометрических данных предложенными выше методами. В частности, файл результата «ImportantFeature» показывает новый набор, который включает в себя 4 признака, расположенных соответственно в 12 первоначальных признаках: 5,6,7,10 (место признаков вектора). С новым набором признаков мы ещё раз выполняем часть 1, представленную выше, и получим результаты случайного леса при запуске пяти новых наборов признаков, показанных в таблице 2.5.

Таблица 2.4

Результаты классификации на основе алгоритма случайного леса [171; 172]

Количество деревьев	Среднее значение	Стандартное отклонение	Минимальное значение	Максимальное значение
100	0.03480	0.025	0.0139	0.0606
200	0.02761	0.0200	0.0152	0.0352
300	0.02178	0.0125	0.0121	0.0336
400	0.01830	0.0150	0.0076	0.0270
500	0.01661	0.0115	0.0102	0.0254

Таблица 2.5

Результаты классификации на основе алгоритма случайного леса с новым набором признаков [171; 172]

Количество деревьев	Среднее значение	Стандартное отклонение	Минимальное значение	Максимальное значение
100	0.0116	0.00833	0.00463	0.0202
200	0.0092	0.00667	0.00516	0.0117
300	0.02178	0.00416	0.0040	0.0221
400	0.00726	0.0050	0.0071	0.009
500	0.00553	0.00383	0.00513	0.0085

Применение результатов классификации для построения антропометрических моделей. В нашей работе используется результат классификации антропометрических данных, которые наиболее важны для построения антропологических моделей. При таком подходе время работы программы быстрее и позволяет строить адекватную модель человеческого тела.

На основе выходных результатов процесса классификации – метка класса присваивается после процесса проверки. Основываясь на значении метки класса каждой записи, имеющая 3D-модель соответствует и подходит с параметрами каждой записи. 3D-модели были построены при поддержке библиотек Min3D [174] и MakeHuman [175]. База данных включает в себя 100 построенных моделей типовых телосложений в соответствии с размерами тела XS, S, M, L, XL. Каждый размер тела имеет 20 моделей, построенных на основе каждого различного параметра тела.

Выбор наиболее подходящей модели для каждой записи будет основываться на 4 признаках, которые выбраны из предлагаемого алгоритма: обхват груди (B), обхват талии (W), обхват бедер (C), рост (H). Мы создаем формулу для расчета следующим образом:

$$Model = Min\left\{\sum_{i=1}^{N}(B-B_i)^2+(C-C_i)^2+(W-W_i)^2+(H-H_i)^2\right\}. \quad (2.19)$$

Применение результатов алгоритма классификации случайного леса повышает точность результатов и уменьшает время вычисления в программе. График сравнения среднего времени при запуске случайного леса 5 раз на новые наборы и начальные наборы антропометрических данных с количеством деревьев соответственно 100, 200,300, 400, 500 (рис. 2.21).

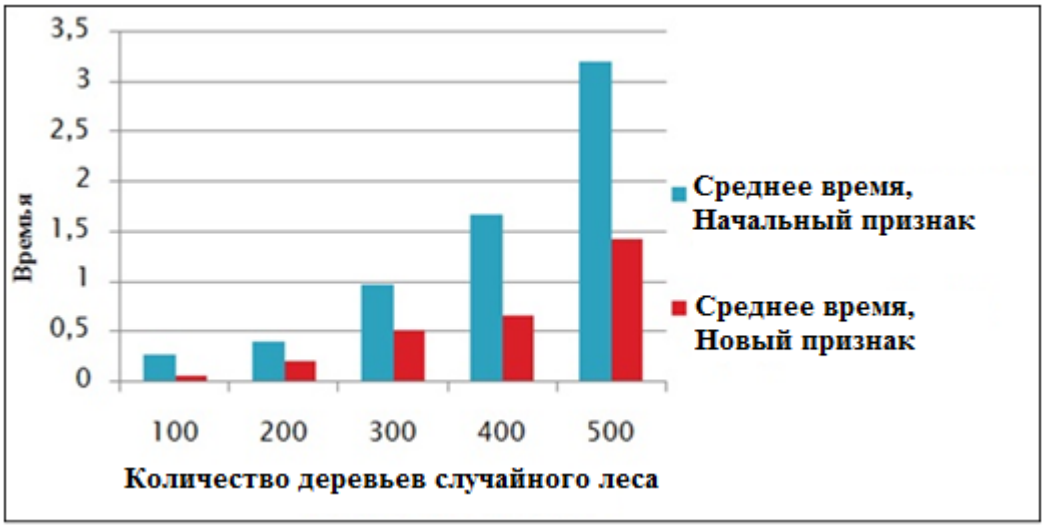


Рис. 2.21. Время работы классификации для каждого набора данных

2.6 Основные результаты и выводы по главе 2

1. Предложен метод извлечения антропометрических признаков на основе алгоритмов компьютерного зрения. Проведено улучшение качества изображения с помощью математических методов обработки изображений, обнаружение объектов с помощью алгоритма вычитания фона, сегментации изображения с

помощью алгоритма разрезов на графах, извлечения опорных точек методом итеративного алгоритма ближайших точек (ИАБТ).

2. Предложен метод уточнения расположения опорных точек с использованием комбинированного алгоритма ИАБТ для повышения точности идентификации опорных точек на контуре.

3. Предложен метод классификации антропометрических данных с помощью алгоритма случайных лесов – Random Forest для классификации размеров и создания антропометрических моделей типовых телосложений.

4. Предложена модель классификации Wrapper и алгоритм извлечения важных признаков для повышения точности и скорости алгоритма случайного леса.

5. Разработан алгоритм и схема его применения для извлечения и классификации антропометрических данных с помощью алгоритмов компьютерного зрения.

6. На основе численных экспериментов проведен сравнительный анализ применимости и сравнение возможности применения алгоритмов компьютерного зрения в антропометрии – обнаружение объектов с помощью алгоритма вычитания фона, сегментации изображения с помощью алгоритма разрезов на графах, извлечения опорных точек методом ИАБТ, классификации антропометрических данных с помощью алгоритма случайных лесов для решения проблемы в антропометрии на статических изображениях в присутствии шума.

7. Экспериментальные результаты представлены в табл. 2.2–2.5 и показывают, что алгоритмы работают с высокой скоростью и точностью при извлечении и классификации антропометрических данных на изображениях и на видеопоследовательностях в присутствии шума и в близком к реальному режиме времени.

3 Системный анализ и проектирование построения антропометрических систем на основе компьютерного зрения. Тестирование и разработка алгоритмов компьютерного зрения

В данной главе приводится информация о анализе, проектировании и построении антропометрического пакета прикладных программ с помощью объектно-ориентированного языка UML. При анализе результатов испытаний применяются алгоритмы компьютерного зрения в условиях шума в режиме реального времени.

3.1 Анализ и проектирование системы

Жизненный цикл программы в целом не может быть разделен на периоды. Он описывает процесс создания, тестирования и поддержания работы системы (рис. 3.1).

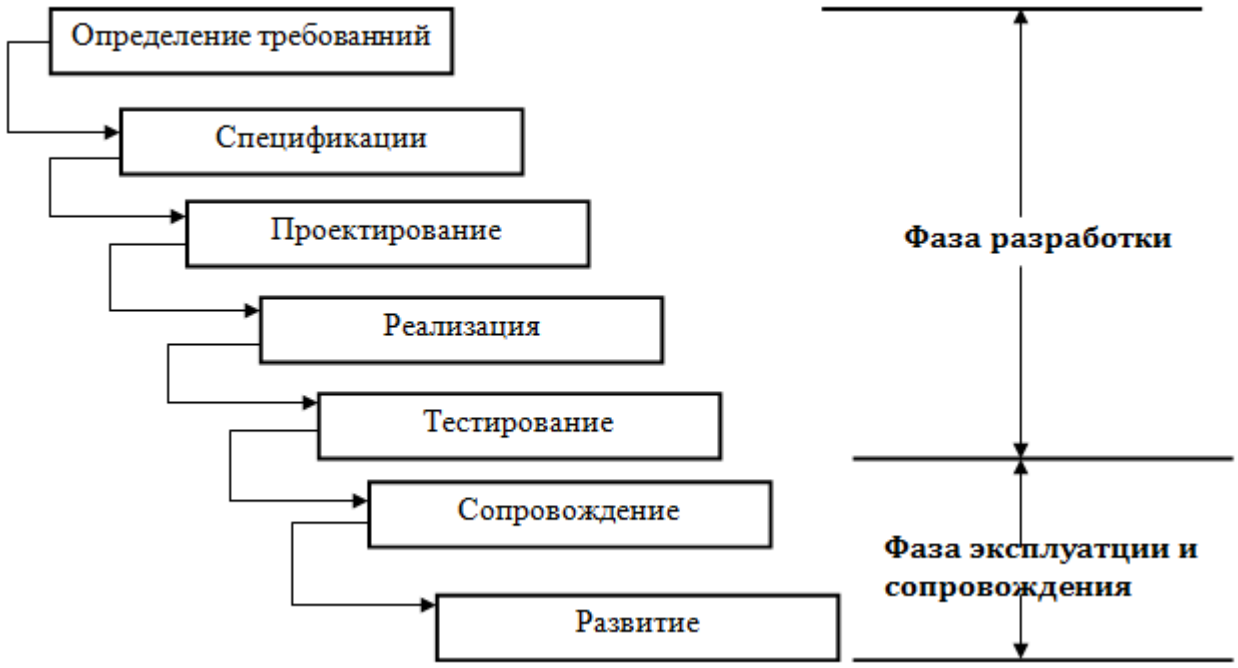


Рис. 3.1. Общепринятая модель жизненного цикла программного обеспечения [176]

Кратко изложим основные этапы проектирования системы. Для этого было создано хранилище документов проекта, включающее в себя: теории и модели, методы и инструменты, используемые для создания и развития системы. Анализ и проектирование системы основаны на двух факторах:

– понимание целей, структуры и процессов работы системы;

– применение передовых методов и соответствующих алгоритмов для повышения эффективности работы и точности системы.

Особенностью анализа и объектно-ориентированного проектирования является система, включающая в себя совокупность объектов, взаимодействующих друг с другом для выполнения задачи с достижением более высоких результатов. Для достижения этой цели мы должны использовать системные модели объектов со следующими основными характеристиками: с высокой абстракцией; по состоянию упаковочной информации; модуль; наследование.

UML является инструментом, обладающим всеми характеристиками и условиями,о которых говорилось выше, для построения модели объекта. Графики моделирования объектов представлены в диссертации, в том числе:

– **Диаграмма прецедентов** (Use Case diagram) – диаграмма, отражающая отношения между множеством логически связанных ролей в UML и прецедентами, являющаяся составной частью модели прецедентов, позволяющей описать систему на концептуальном уровне;

– **Диаграмма классов** (Static Structure diagram) – диаграмма, демонстрирующая классы системы, их атрибуты, методы и взаимосвязи между ними. Входит в UML;

– **Диаграмма последовательности** (sequence diagram): диаграмма, на которой для некоторого набора объектов на единой временной оси показан жизненный цикл (создание-деятельность-уничтожение) и взаимодействие (отправка запросов и получение ответов). Используется в языке UML.

Объектная модель описывает структуру объектов, их операции, атрибуты и взаимосвязи с другими объектами. Объектная модель показывает понятия и реальные объекты, которые важны для разрабатываемой системы. Цель разработки объектной модели – выделение и описание объектов, составляющих проектируемую систему и выявление различных зависимостей между объектами.

Система компьютерного зрения в антропометрии включает в себя следующие основные вопросы:

– сбор и обработка данных с камеры;

– извлечение антропометрических признаков;

– классификация антропометрических данных;

– разработка приложений для текстильной промышленности (E-Tailor) и фитнеса (E-фитнес) на основе результатов системы компьютерного зрения в антропометрии.

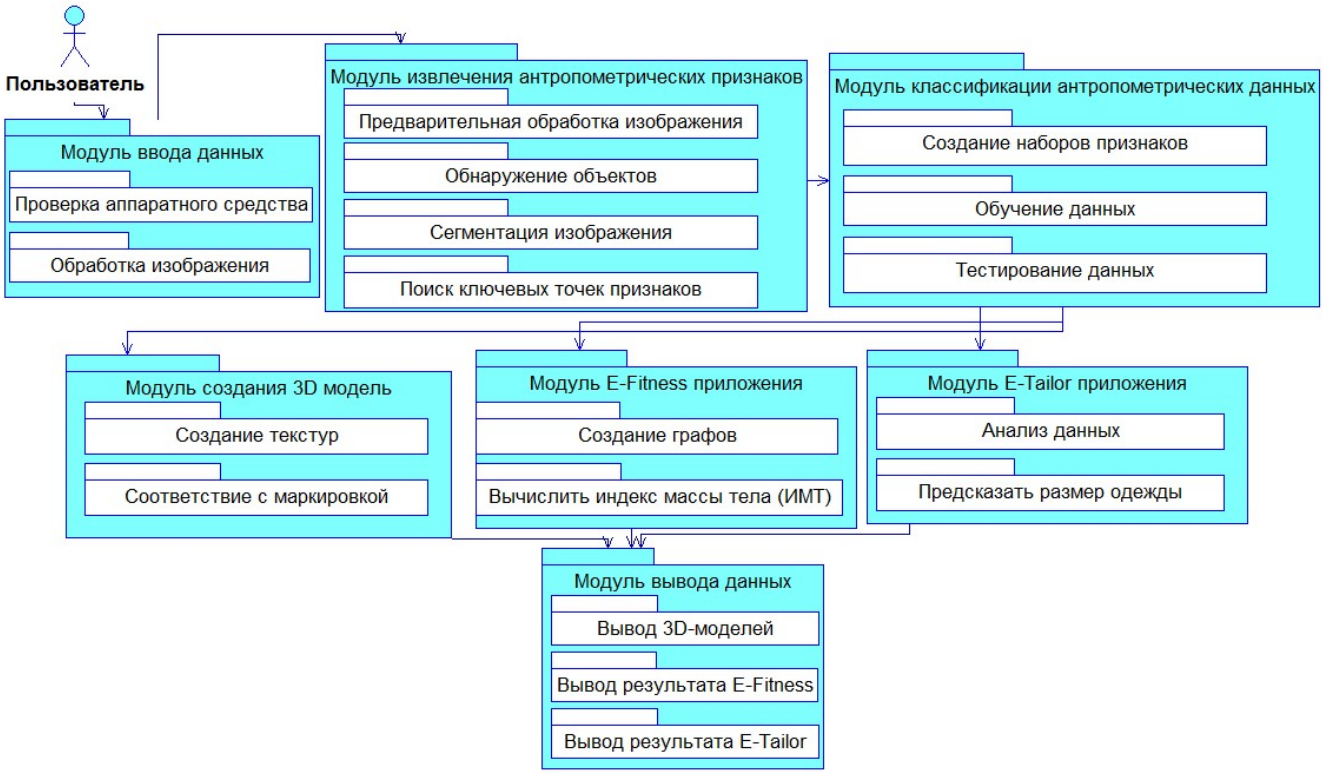


Рис. 3.2. Структура ПО

3.1.1 Анализ и проектирование системы эксперсс-антропометрии для моделирования одежды

Цель: Описание работы программы автоматического измерения размеров человеческого тела, 3D моделирование тела мужчины / женщины, выбор размеров одежды на основе антропометрических признаков.

Система имеет основные функции, которые представлены на рис. 3.3. Основные классы системы представлены на рис. 3.4 и диаграмма последовательности представлена на рис. 3.5.



Рис. 3.3. Диаграмма прецедентов – использование системы компьютерного зрения приложения E-Tailor

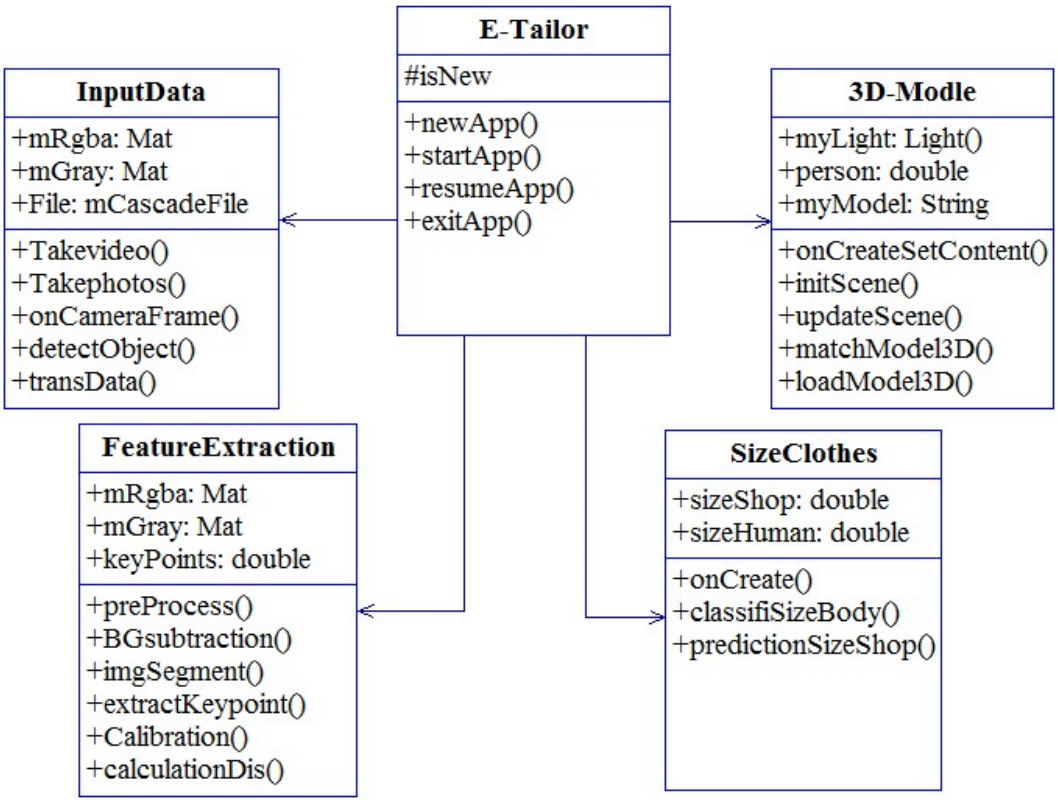


Рис. 3.4. Диаграмма классов – системы экспресс антропометрии – приложения E-Tailor

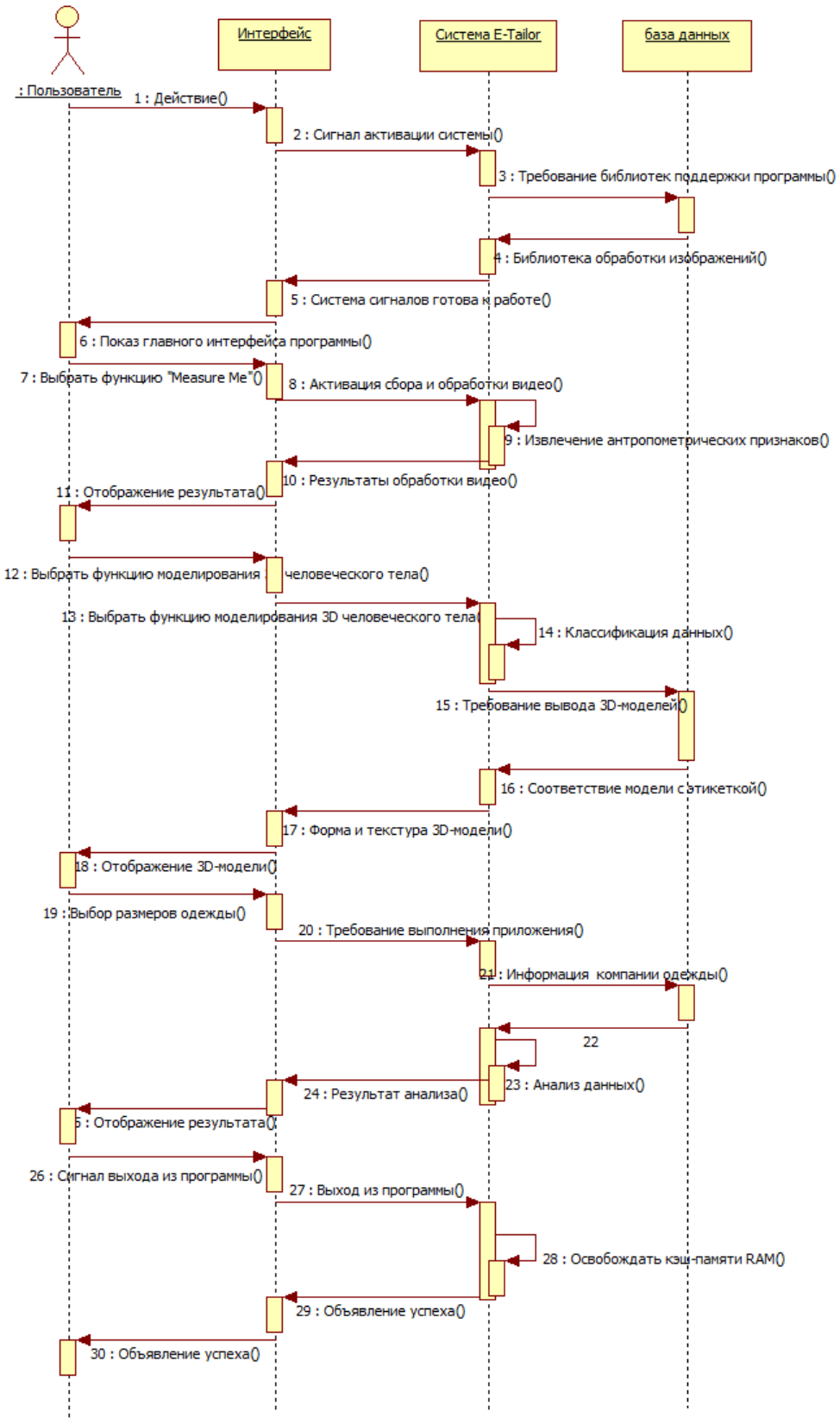


Рис. 3.5. Диаграмма последовательности – система компьютерного зрения в антропометрии приложения E-Tailor

3.1.2 Анализ и проектирование системы компьютерного зрения в антропометрии для фитнеса

Цель: Описание работы программы автоматического измерения размеров человеческого тела, 3D моделирование тела мужчины / женщины, автоматизация измерения индекса массы тела (ИМТ), анализ антропометрических признаков по стандартам фитнеса.

Система имеет основные функции, которые представлены на рис. 3.6. Основные классы системы представлены на рис. 3.7 и диаграмма последовательности представлена на рис. 3.8.

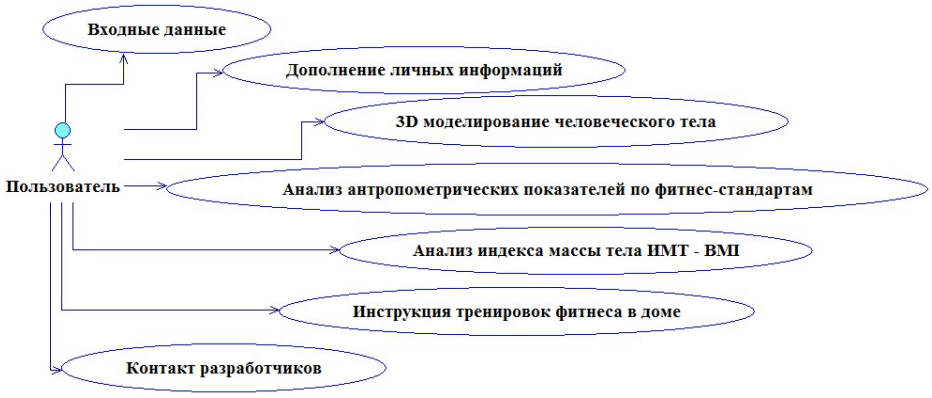


Рис. 3.6. Диаграмма прецедентов – использование системы компьютерного зрения приложения E-Fitness

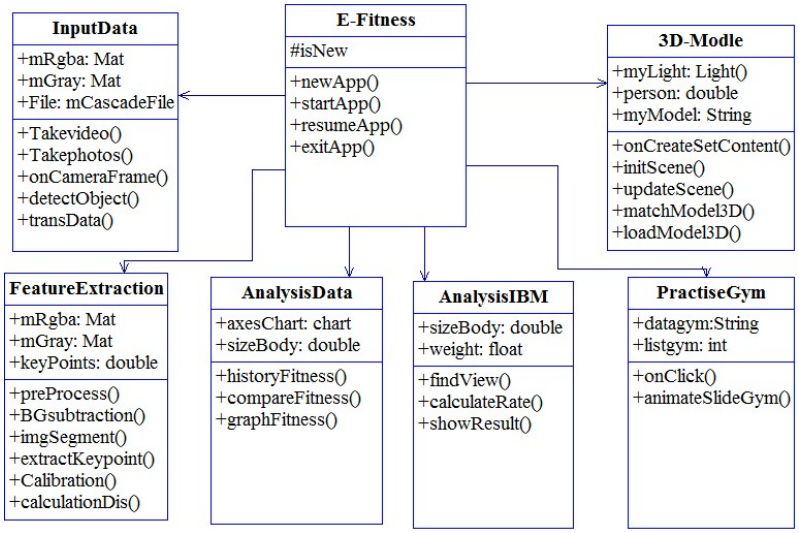


Рис. 3.7. Диаграмма классов – системы экспресс антропометрии – приложения E-Fitness

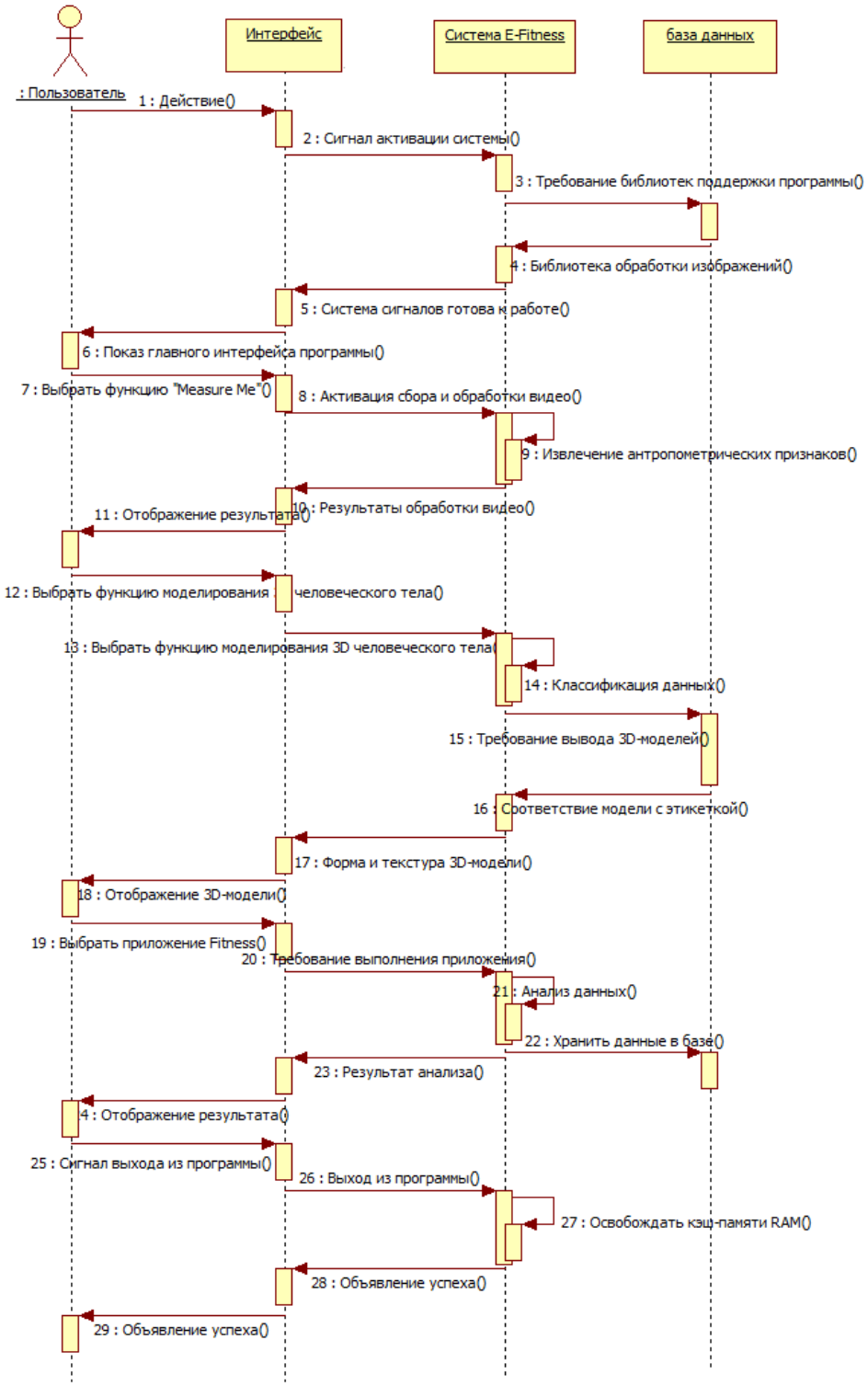


Рис. 3.8. Диаграмма последовательности – система компьютерного зрения в антропометрии приложения E-Fitness

3.2 Тестирование и разработка алгоритмов компьютерного зрения на изображениях и видеопоследовательностях

Цель эксперимента состояла в том, чтобы проверить эффективность работы алгоритмов, методов компьютерного зрения к задаче антропометрии, проверить обоснованность конструкции системы, учитывая влияние внешних факторов на точность алгоритма.

Главное содержание эксперимента заключается в следующем:

– эксперимент для теста процесса извлечения антропометрических признаков: предварительная обработка изображений для улучшения качества изображений и контура объекта; обнаружение объекта, сегментация частей человеческого тела и расчёт размеров;

– эксперимент для теста процесса классификации антропометрических данных (обучение и тестирование).

Эксперимент проводился на основе языка программирования Java в среде ПО Eclipse, версия API (интерфейс программирования приложений) 4–19 с использованием открытой библиотеки компьютерного зрения – OpenCV, библиотеки моделирования 3D для компьютеров и смартфонов – Min3D и библиотеки дизайн 3D моделей – Humanmaker.

Оборудование тестирования: Смартфоны с ОС Android с фронтальной камерой (2.0–5.0 мегапикселей) и главной камерой (5.0–12.0 мегапикселей), оперативная память (512–3072 МБ).

Эксперимент проводился на основе данных, собранных с помощью смартфона Самсунг Note 4: версия ОС Android 6.0.1, частота процессора 1.9 ГГц, количество ядер 8, разрешение дисплея 1440x2560 пикселей, диагональ экрана 5.7 inch, разрешение фотокамеры 16 МПикс., качество видеосъемки 3840x2160 Пикс., разрешение фронтальной камеры 3.7 МПикс., оперативная память 3 ГБ, встроенная память 32 ГБ. На этапе сбора данных пользователь стоит перед фронтальной камерой телефона (расстояние такое, чтобы тело полностью было в кадре), выполняется серия движений, поворот на 90 градусов налево, направо и наоборот. Первоначально будут собираться данные с изображения. Приложение идентифицирует объект, который появляется в кадре и определяет, человек это

или нет (на основе обнаружения лица). Затем программа автоматически собирает и выполняет вычитание фона изображения, сегментацию частей человеческого тела, определяет опорные точки на теле. Происходит калибровка на основе роста пользователя для расчета антропометрических признаков.

Для проверки правильности работы программы эксперименты проводились несколько раз для одного и того же объекта, в разном времени и месте, в различных условиях шума и освещения, таких как эксперименты (рис. 3.9).



Рис. 3.9. Пример данных эксперимента

База данных была создана, чтобы получить данные для тестирования и оценки эффективности работы методов и алгоритмов компьютерного зрения на изображениях и видеопоследовательностях. Создание этой базы необходимо, чтобы учитывать влияние различных факторов на производительность системы (рис. 3.10), (рис. 3.11).

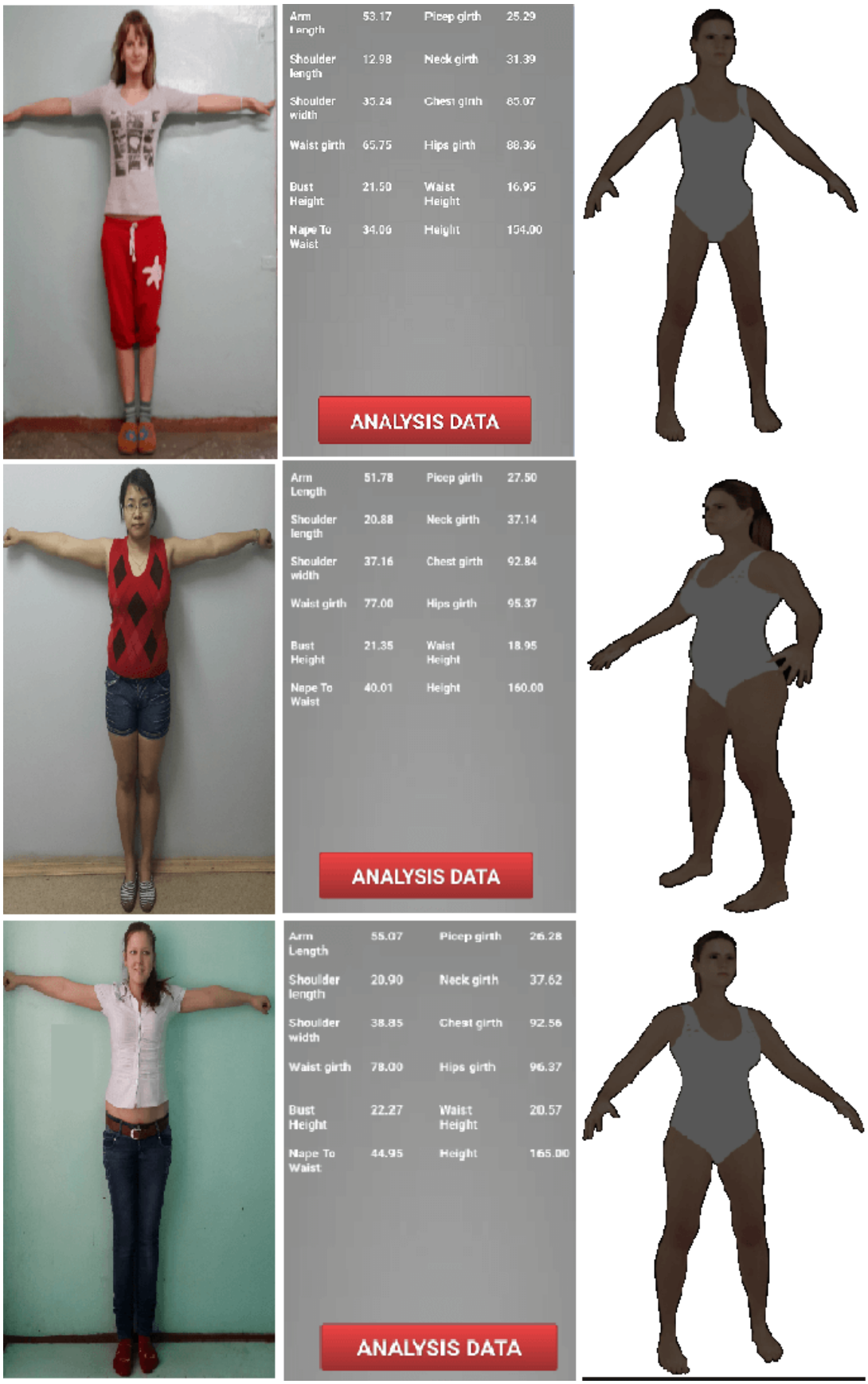


Рис. 3.10. Результаты извлечения антропометрических признаков и 3D-моделей для женщин

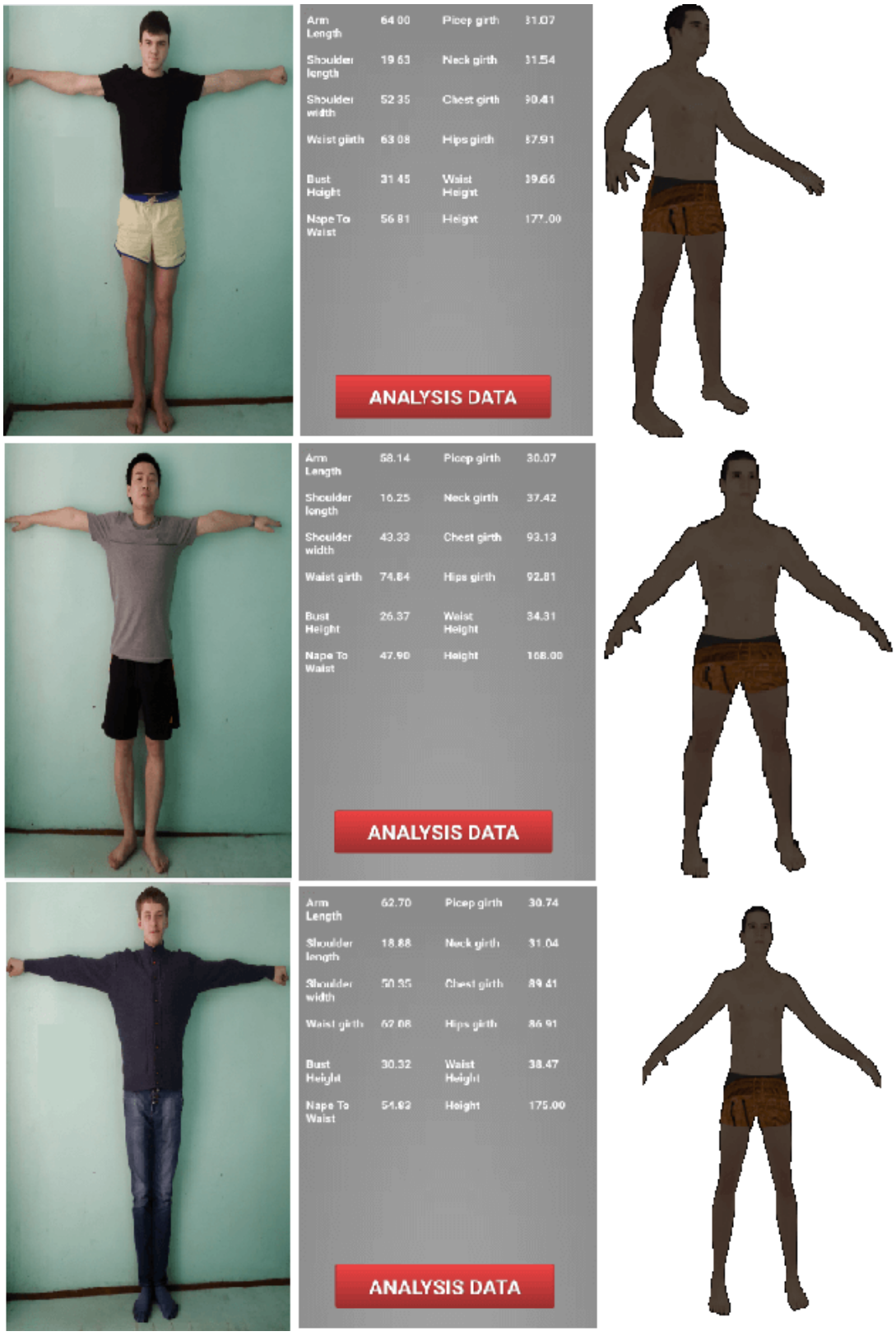


Рис. 3.11. Результаты извлечения антропометрических признаков и 3D-моделей для мужчин

В ходе эксперимента были использованы алгоритмы компьютерного зрения и извлечения антропометрических признаков. Для этого используются алгоритмы разрезов на графах, а также итеративные алгоритмы ближайших точек двух видов: из 24 опорных точек и 28 опорных точек для сравнения результата алгоритма вычитания фона и метода выпуклой оболочки [171;172] (таблица 3.1). В нашей работе [171] изложен метод измерения различных антропометрических признаков на основе анализа цифровых изображений. Для более эффективного измерения признаков предлагается использовать субпиксельную обработку [177] и анализ выпуклой оболочки [178].

Таблица 3.1

Результаты извлечения антропометрических признаков

	GC + ИАБТ (28 опорных - - точек)	GC + ИАБТ (24 опорных - - точек)	Вычитание фона + выпуклая оболочка
Обхват груди	93		
	92.85	90.75	85.0
Обхват талии	75		
	74.80	72.0	69.79
Обхват Бедер	91		
	91.3	89.65	88.65
Длина руки	50		
	50.40	47.62	40.30
Обхват бицепса	29		
	28.50	27.31	32.50
Обхват шеи	36		
	36.21	35.70	38.95
Длина спины	40		
	40.10	38.75	56.50
Ширина плеча	36		
	36.25	34.30	31.90
Длина плеча	13		
	13.10	12.83	15.56

3.3 Основные результаты и выводы по главе 3

1. В этой главе описывается анализ проектирования систем компьютерного зрения в антропометрии для практических применений: моделирование одежды и фитнес-тестирование с помощью аналитических методов объектно-ориентированного UML. Используются диаграммы прецедентов, диаграммы классов и диаграммы последовательности. Классы подробно анализируются с указанием задач каждой компоненты в программе. Также обоснована целесообразность проектирования приложений компьютерного зрения.

2. Описаны результаты тестирования алгоритмов компьютерного зрения: сегментация изображений алгоритмом разрезов на графах (graph cuts), поиск опорных точек с помощью итеративного алгоритма ближайших точек (ИАБТ). Алгоритмы функционируют в режиме реального времени и в условиях наличия с шумов на видеопоследовательностях. Эксперименты доказали, что предложенные алгоритмы эффективно работают для извлечения антропометрических признаков;

3. Проведен анализ практических результатов экспериментов извлечения антропометрических признаков. Выполнено сравнение результатов предложенных алгоритмов с другими алгоритмами по точности. Установлено преимущество синтеза алгоритма на основе метода разреза на графах и итеративного алгоритма ближайших точек.

4. Результаты экспериментов по классификации антропометрических данных на смартфоне показали, что алгоритм случайного леса эффективно работает для решения задач классификации на видеопоследовательностях в режиме реального времени;

5. Описан результат построения антропометрических моделей на основе результата извлечения и классификации антропометрических данных.

4 Мобильные приложения «E-Tailor» и «E-Fitness» – системы компьютерного зрения в антропометрии

В этой главе представлены результаты разработки приложений системы компьютерного зрения в антропометрии. Приложения разработаны для операционной системы Андроид. Также приведено описание библиотек и инструментов поддержки для разработки прикладных программных обеспечений «E-Tailor» и «E-Fitness».

4.1 Средства поддержки для разработки программного обеспечения (ПО) на смартфоне

4.1.1 Операционная система Андроид и среда программирования

Android (Андроид) – операционная система для смартфонов, интернет-планшетов, электронных книг, цифровых проигрывателей, наручных часов, игровых приставок, нетбуков, смартбуков, очков Google, телевизоров и других устройств. В будущем планируется поддержка автомобилей и бытовых роботов. Основана на ядре Linux и собственной реализации виртуальной машины Java от Google. В 86 % смартфонов, проданных во втором квартале 2014 года, была установлена операционная система Android. При этом за 2014 год было продано более 1 миллиарда Android-устройств [179].

Преимущества операционной системы Android:

– операционная система с открытым исходным кодом обладает большими преимуществами в возможностях настройках, и имеет возможность дополнительно редактировать код без вмешательства или ограничений от Google;

– большинство мобильных компаний выбирают Android для своих продукций, руководствуясь разумной ценой;

– Android включает в себя большой онлайн-магазин приложений Google Play;

– удобный и простой в использовании;

– возможность работать в многозадачном режиме.

Недостатки операционной системы Android:

– легкое заражение вредоносными программами и вирусами. Из-за того, что программное обеспечение с открытым исходным кодом, качество операционной системы не контролируется и имеются небезопасные приложения в Google Play;

– большая фрагментация. От высококачественных Android устройств, таких как Galaxy S6, Galaxy Note 4, Xperia Z4 и т. д., до некачественных;

– обновления появляются не для всех устройств. Когда выпускается новая версия операционной системы, не все продукты находятся в актуальном состоянии.

Открытый исходный код и возможность изменения Android делают возможным использование на других электронных устройствах, таких как ноутбуки и нетбуки, смартбуки, смарт-телевизоры и фотоаппараты. Кроме того, операционная система Android также применяется в смарт-очках (Project Glass), часах, наушниках, портативных музыкальных плеерах, настольных телефонах и игровых машинах.

Среда программирования для Android. Официальный язык программирования Android – Java. Хотя приложения для Android были разработаны на основе платформы Java, они не поддерживают J2ME и J2SE (два популярных языка программирования для мобильных устройств).

Android SDK включает в себя отдельные инструменты, такие как отладчик, библиотеки, эмулятор телефона Android, документы поддержки и примеры кода. Android в настоящее время предлагает инструменты для нескольких операционных систем (Windows, Linux, Mac и прочие), в виде пакета средств разработки Java (JDK), Apache Ant и Python 2.2 старше.

Основной средой программирования (IDE) для Android является Eclipse (начиная с версии 3.2) с поддержкой Plugin Android Development Tools (ADT). Тем не менее, программисты могут использовать любой IDE или текстовый редактор для написания Java-код, а затем скомпилировать XML и собрать приложение с помощью инструментов командной строки.

Android приложения упаковываются в .apk файл и хранятся в папке /data/app ОС Android. Некоторые типичные инструменты поддержки программирования на Android: SQLite Manager, DroidDraw, Balsamiq Mockups и AdobeFireworks, StarUML.

Основные компоненты проекта Android на Eclipse (рис. 4.1):

– app/build/ – директория для хранения результатов сборки;
– app/libs/ – библиотеки;
– app/src/ – исходный код проекта;
– app/src/main/java – Java-классы;
– app/src/ – исходный код проекта;
– app/src/main/res – ресурсы ;
– app/src/main/AndroidManifest.xml – файл Android Manifest.

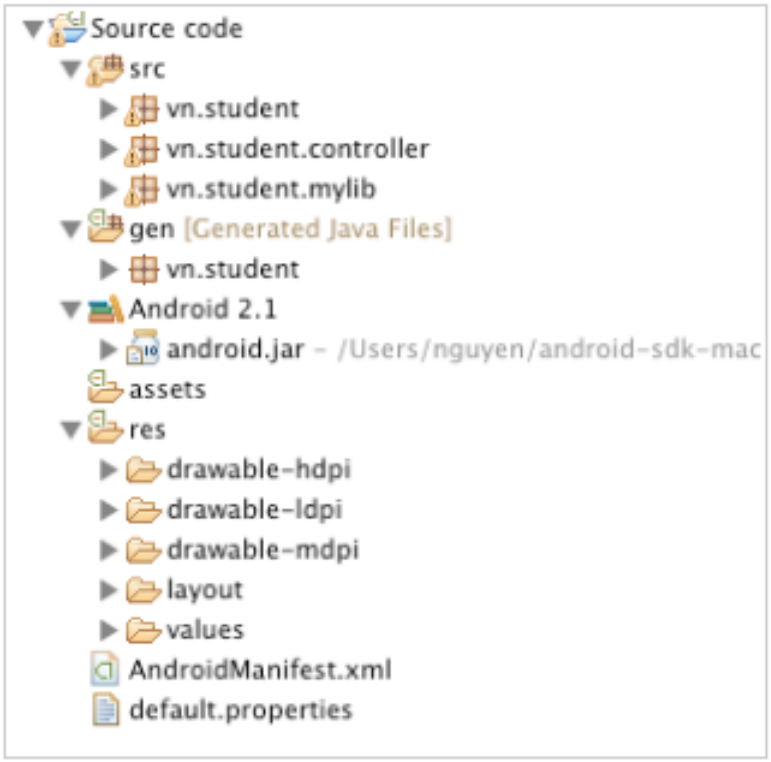


Рис. 4.1. Структура директории и файлов проекта ПО Андроид на Eclipse

Файл AndroidManifest.xml:

Этот файл является основой всех Android-приложений, AndroidManifest.xml файл помещается в папке Root и показывает компоненты, которые включены в приложении (activities, services) и как компоненты прикреплены вместе.

При создании файла manifest, необходимо обеспечить свойства пакета, то есть имя пакета Java, используемого в качестве основы для нашего приложения. После ввода имени пакета и, в случае необходимости, в файле manifest, мы можем сократить, например, с классом «com.yourapp.android.search.Someclass», просто пишется: «.Someclass». Структура файла manifest представлена на рис. 4.2.

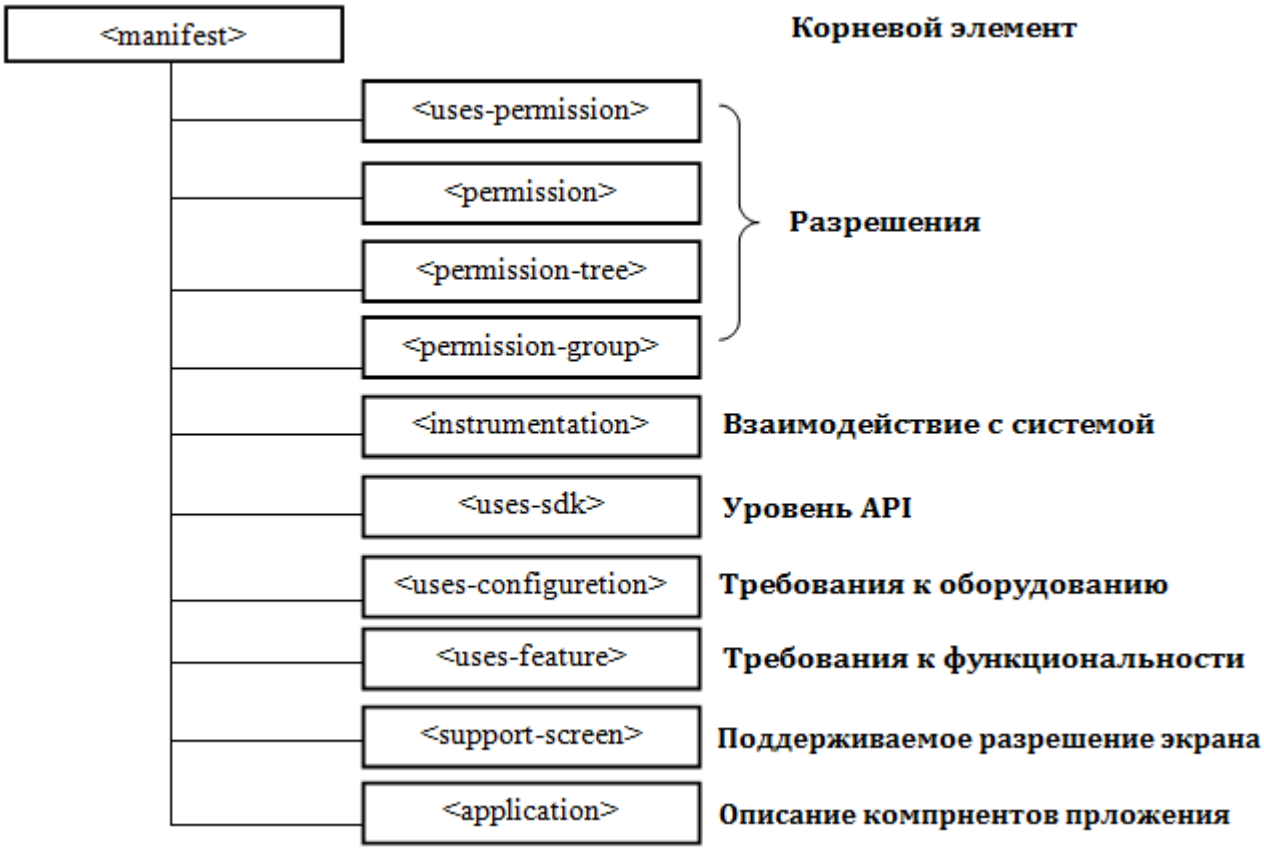


Рис. 4.2. Структура файла Manifest

4.1.2 Библиотеки поддержки для разработки приложений

Библиотека обработки изображений для Android – OpenCV

OpenCV (Open Computer Vision Library) [180] – библиотека компьютерного зрения, которая распространяется в виде открытого исходного кода. Изначально OpenCV была написана для программ на языке C, но теперь работает на других

языках, таких как C ++, Java, Android, IOS. А так же время поддерживает много ОС: Windows, Linux, Android, Mac OS, Cube.

В настоящее время в библиотеке OpenCV существует более 2 500 современных алгоритмов, которые включают в себя совокупность основных алгоритмов компьютерного зрения и машинного обучения. Эти алгоритмы могут быть использованы для обнаружения и распознавания лиц, распознавания объектов и классификации человеческих действий в видео, отслеживать перемещение объектов, извлекать 3D модели объектов, для нахождения похожих изображений из базы данных изображений, для удаления эффекта красных глаз из изображений, снятых с использованием вспышки, для отслеживания движения глаз и т. д.

Структура OpenCV (рис. 4.3) включает в себя 4 основных компоненты:

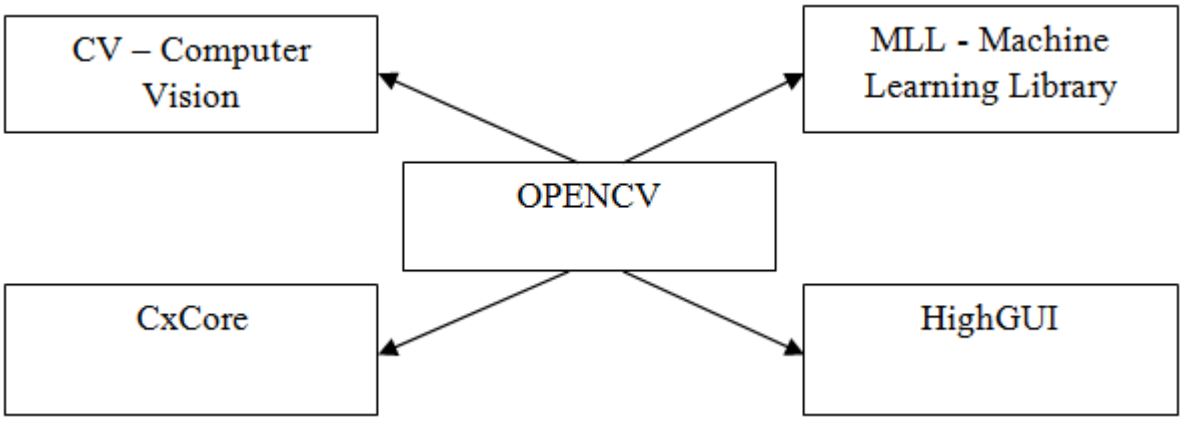


Рис. 4.3. Структура OpenCV

– **CxCore**. Содержит основную структуру, такие как точки, линии, блоки, руки, матриц, и связанные с ними манипуляции низкого уровня;

– **MLL** (Machine Learning Library) является библиотекой машинного обучения, эта библиотека включает в себя много классов статистики и инструментов обработки;

– **CV** (Computer Vision – компьютерное зрение). Содержит множество операций, связанных с обработкой изображений низкого уровня, таких как фильтрация изображений, обнаружение контура, преобразование Фурье и прочее;

– **HighGUI**. Работа с файлами изображений и видео, такие как загрузка изображения, отображения изображений, преобразование форматов.

Open CV имеет следующие основные модули:

– Opencv core: обеспечивает основную функциональность. Включает в себя базовые структуры, вычисления, ввод и вывод для XML и т.д;

– Opencv imgproc: обработка изображений;

– Opencv highgui: модуль для создания пользовательского интерфейса;

– Opencv feature2d: распознавание и описание плоских примитивов (SURF, FASR и др.);

– Opencv video:анализ движения и отслеживание объектов;

– Opencv objdetect: обнаружение объектов на изображении;

– Opencv ml:модели машинного обучения.

Библиотека моделирования 3D – MakeHuman

MakeHuman – программное обеспечение с открытым исходным кодом, является бесплатным, служит для создания 3D модели человека. MakeHuman прост в использовании и имеет интуитивно понятные параметры, в том числе:

– возраст, пол, рост, вес;

– пропорция тела, форма лица;

– глаза, нос, рот, подбородок, уши, шея и др.

– руки, ноги

Это приложение разработано с использованием 3D-технологий. Создание начинается с формы человека, а затем преобразуется во множество различных персонажей, в том числе мужчин и женщин. Кроме того, мы можем преобразовать 3D модели из формы ребенка в юношу, взрослого и пожилого человека.

Библиотека поддержки моделирования Min3D

Библиотека Min3D имеет открытый исходный код, разработанный для операционной системы Android для отображения антропометрических моделей. Она использует инструмент поддержки OpenGL версий 1.0/1.1. Min3D совместим с OpenGL API, предоставляет удобную и полезную библиотеку для приложений моделирования. Библиотека Min3D легко восстановит 3D-модели объекта. Min3D работает на следующих файлах: Wavefront OBJ, 3DS, MD2. Структура библиотеки Min3D описана на рис. 4.4.

В данной работе используется сочетание двух библиотек MakeHuman и Min3D для создания шаблонов 3D-моделей человеческого тела. Эти шаблоны описаны в двух файлах с расширениями *.mtl и *.obj. Эти файлы хранятся в папке Андроида (project/res/raw).

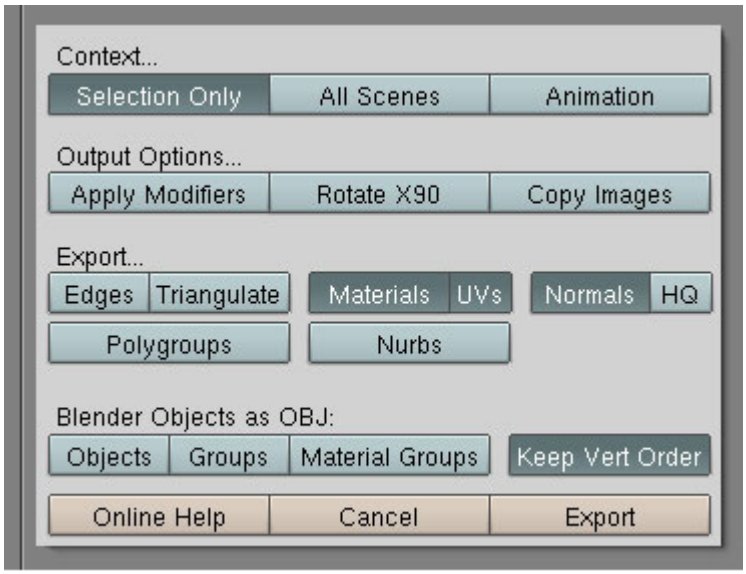


Рис. 4.4. Структура библиотеки моделирования Min3D

– файлы *.obj содержат данные, описывающие 3D-модели в формате текста, а также другую информацию об объекте. Файлы *.obj просты в использовании и полезны для хранения и отображения 3D-модели любого объекта;

– файлы *.mtl содержат информацию текстур объектов.

Оба файла *.obj и *.mtl являются конечным результатом конструкции 3D-модели человека на основе результата извлечения антропометрических признаков системы компьютерного зрения, предложены библиотека MakeHuman и входные данные для отображения на устройствах Android сгенерированные с помощью библиотеки min3D.

4.2 Программное обеспечение мобильной экспресс-антропометрии

Как уже отмечалось выше, приложения созданы для анализа видео на смартфонах, оно основано на алгоритмах компьютерного зрения с использованием поддержки среды Android и библиотек OpenCV, Min3D, MakeHuman. В данной диссертации применяется антропометрическая система компьютерного зрения, изложенная выше в гл. 2 и 3 для создания мобильных приложений в областях моделирования одежды (E-Tailor) и фитнеса (E-Fitness). Системные требования: версия Android от 4.4.2, передняя камера с разрешением 2.0 мп или выше.

4.2.1 Мобильное приложение моделирования одежды E-Tailor

Программа «E-Taloir» предназначена для моделирования одежды. При запуске программы появляется главное окно формы (рис. 4.5).

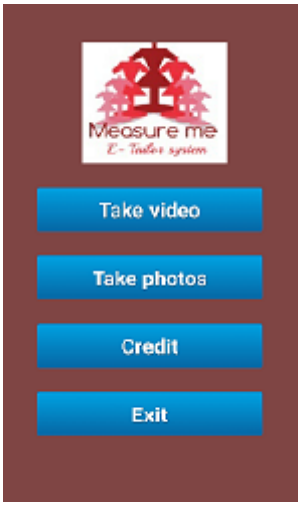


Рис. 4.5. Основный интерфейс приложения E-Tailor

Пользователю предоставляются выбор:

– «Take photo». В рабочей области транслируется текущая последовательность изображений, область обнаружения объектов и извлечение антропометрических признаков, см. Рис. 4.6;

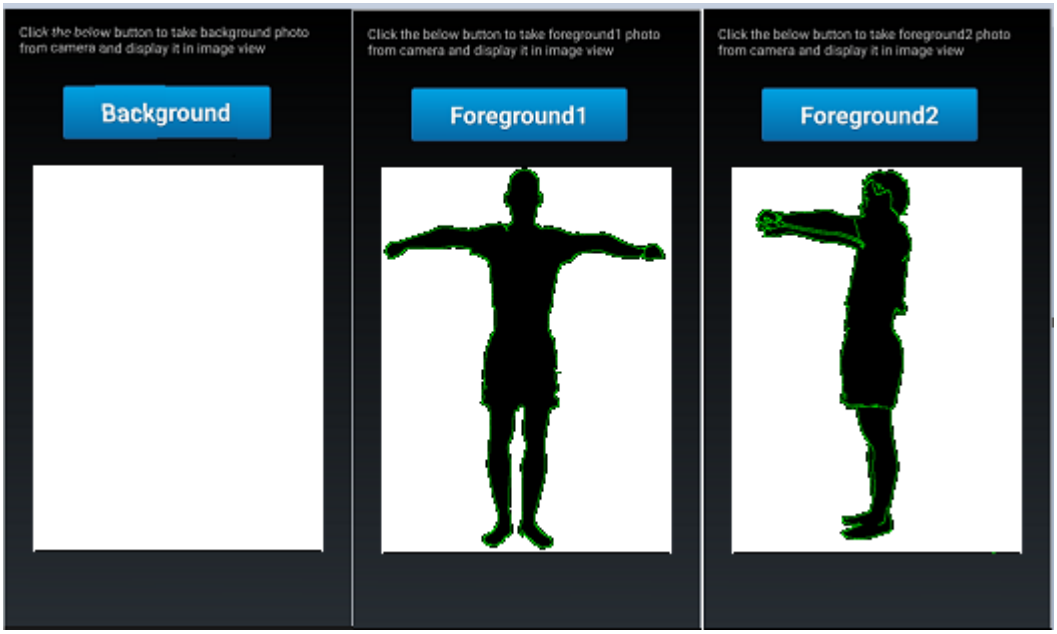


Рис. 4.6. Интерфейс функции «Take photos»

– «Take video». В рабочей области отображается видеопоследовательность, область обнаружения объектов и извлечение антропометрических признаков, см. Рис. 4.7;

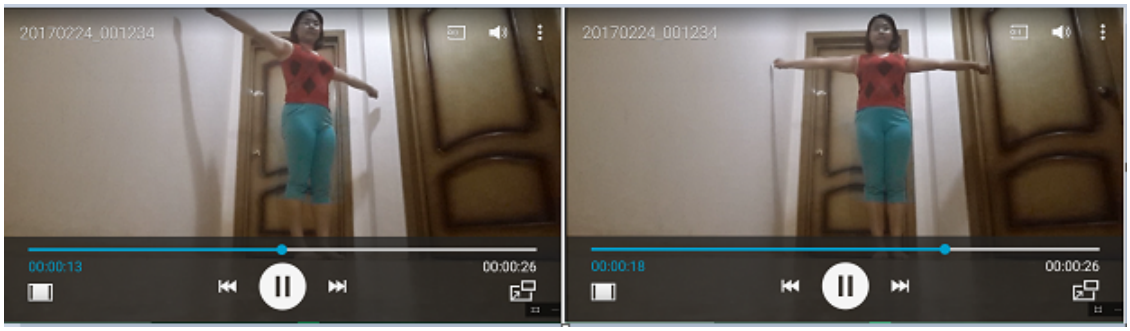


Рис. 4.7. Интерфейс функции «Take video»

– «Credit». Контакты с командой разработчиков;

– «Exit». Позволяет осуществить выход из программы.

Основные функции приложения E-Tailor. Основные функции представлены на Рис. 4.8: снимать 12 мерок телосложения; показывают 3D-модель на основе антропометрических признаков и классификации данных; позволяют пользователям выбрать марки одежды и классифицировать размеры одежды в соответствии с полученной антропометрией.

Приложение E-Tailor даёт функцию автоматизации выбора размеров одежды для каждого бренда (компании и производителя одежды) в соответствии с размерами субъекта. Имеется 8 популярных брендов одежды для выбора. Представленный результат выдается в соответствии со стандартами UK (Великобритании), EUR (Европы), RU (России) (рис. 4.8).

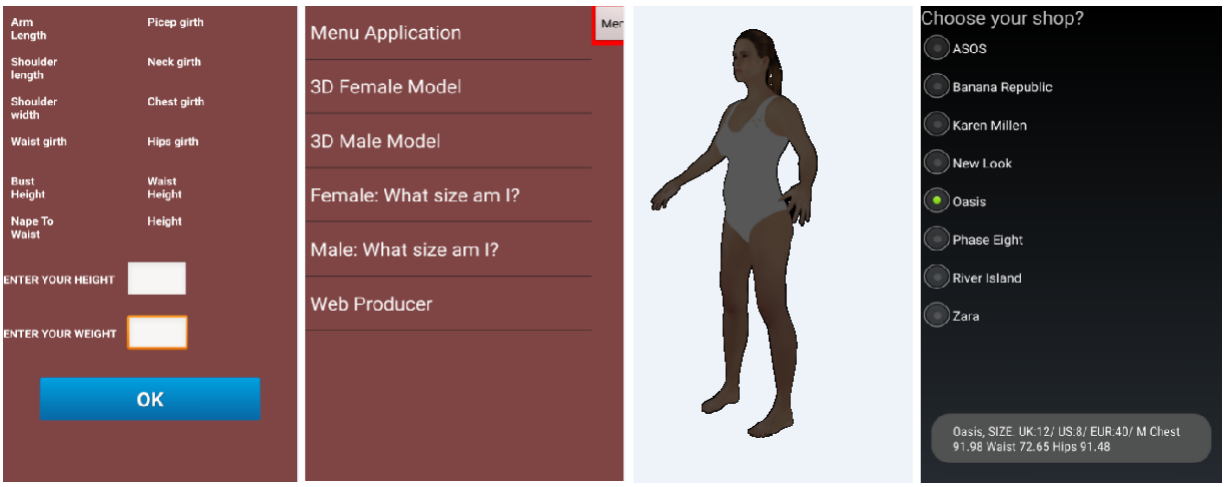


Рис. 4.8. Результат функции выбора размеров одежды

4.2.2 Мобильное приложение для фитнеса E-Fitness

Программа «E-Fitness» предназначена для фитнеса. При запуске программы появляется главное окно формы (рис. 4.9).

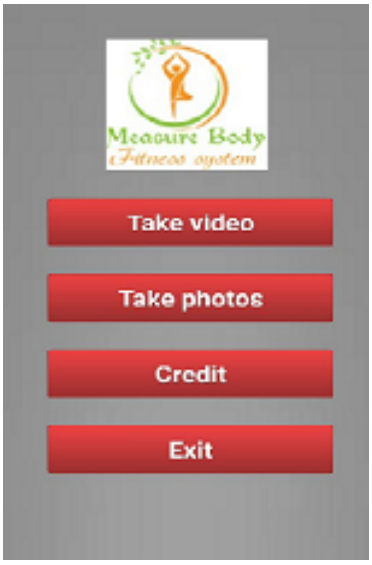


Рис. 4.9. Основный интерфейс приложения E-Fitness

Пользователю предоставляются выбор:

– «Take photo». В рабочей области транслируется текущая последовательность изображений, область обнаружения объектов и извлечение антропометрических признаков, см. Рис. 4.10;

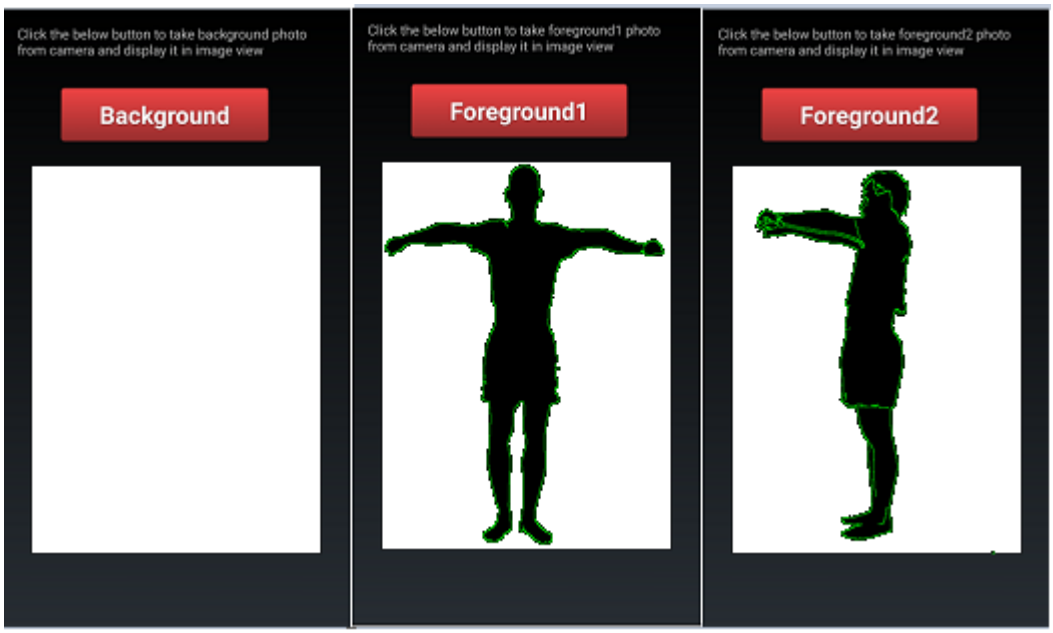


Рис. 4.10. Интерфейс функции «Take photos»

– «Take video». В рабочей области отображается видеопоследовательность, область обнаружения объектов и извлечение антропометрических признаков, см. Рис. 4.11;

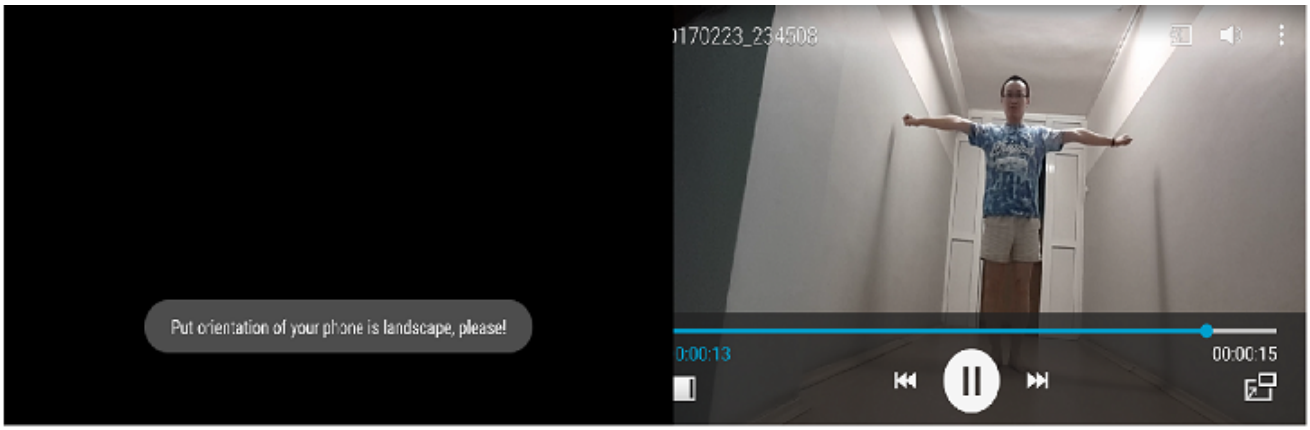


Рис. 4.11. Интерфейс функции «Take video»

– «Credit». Контакты с командой разработчиков;

– «Exit». Позволяет осуществить выход из программы.

Основные функции приложения E-Fitness (рис. 4.12):

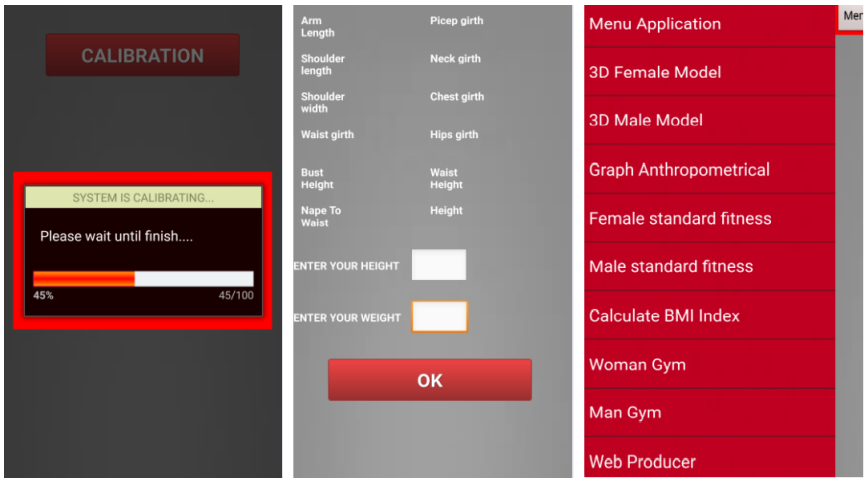


Рис. 4.12. Интерфейс работы программы

– снимать 12 антропометрических измерений;

– строить 3D-модель на основе полученных измерений (рис. 4.13);

– анализировать измерения на основе фитнес-стандартов (рис. 4.14).

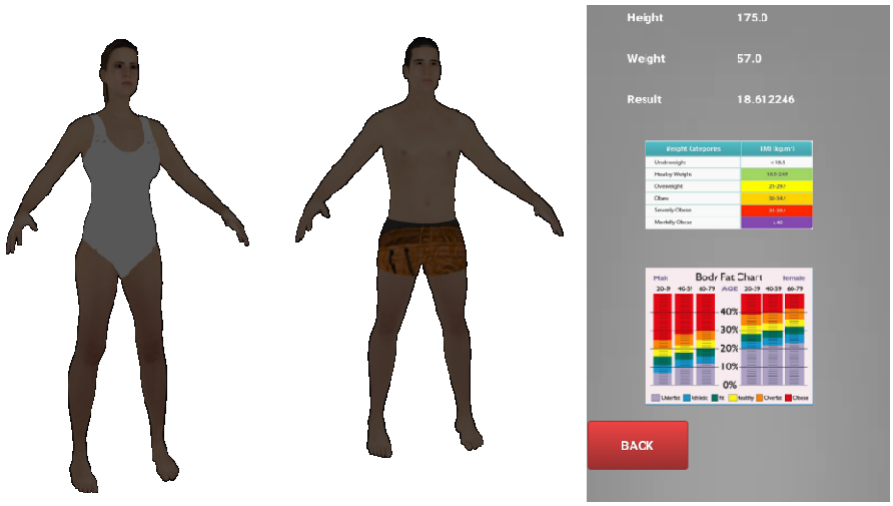


Рис. 4.13. Результат 3D-моделей

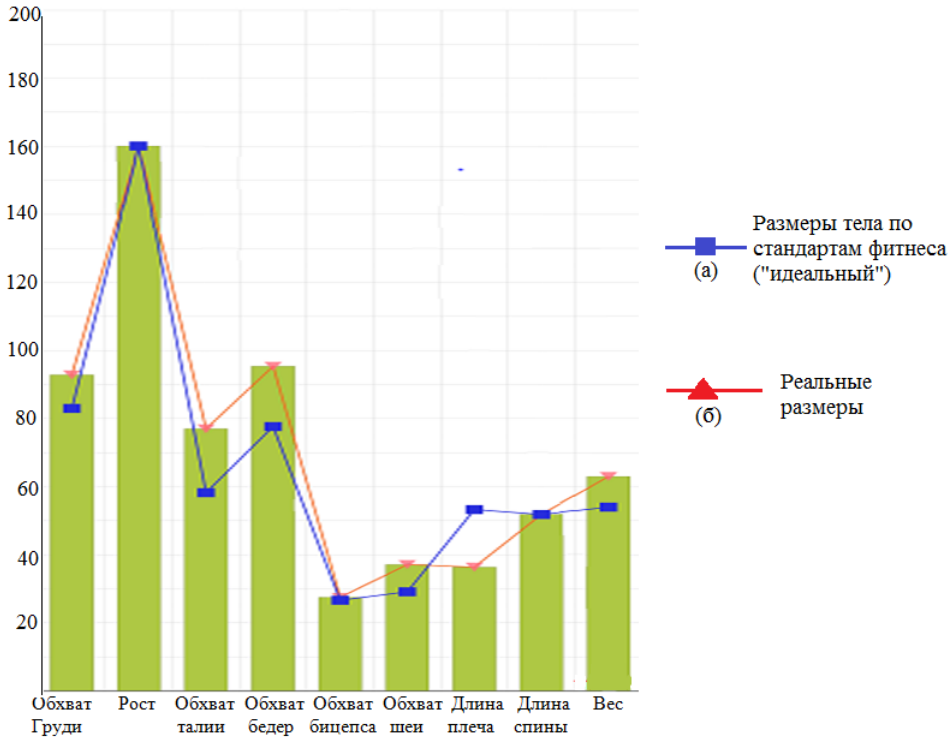


Рис. 4.14. Результат анализа антропометрических признаков и сравнение с идеальными пропорциями телосложения

В приложении E-Fitness реализованы полезные функции в области фитнеса.

Первая функция: Учёт индекса массы тела (ИМТ – body mass index BMI) (рис. 4.13) – величина, позволяющая оценить степень соответствия массы человека и его роста и тем самым косвенно оценить, является ли масса недостаточной, нормальной или избыточной. ИМТ рассчитывается по формуле: $I = \frac{m}{h^2}$, где m – масса тела в килограммах, h – рост в метрах.

Вторая функция: Анализ антропометрических признаков по фитнес-стандартам, чтобы позволять пользователи отслеживать здоровье каждый день. Приложение позволяет пользователям сравнить свои параметры с размерами по фитнес-стандартам (рис. 4.14). Где линия (а) – размеры по идеальным пропорциям телосложения, линия (б) – реальные размеры. Столбцы представляют размеры антропометрических признаков.

4.3 Основные результаты и выводы по главе 4

1. Дано описание среды разработки приложений под ОС Android, библиотек поддержки алгоритмов компьютерного зрения OpenCV, поддержки построения 3D-моделей человеческого тела MakeHuman и библиотеки поддержки 3D для Android – Min3D.

2. Изложены инструкции для пользователей разработанных приложений.

3. Приведена архитектура реализованного автором мобильного приложения для моделирования одежды (E-Tailor). Главные функции приложения включают автоматизацию извлечения антропометрических признаков и получение размеров одежды.

4. Изложены этапы разработки приложения для фитнеса (E-Fitness). Главные функции разработанного приложения включают: автоматизацию извлечения антропометрических признаков, построение антропометрических моделей человеческого тела, анализ и сравнение признаков телосложений, расчет индекса массы тела (ИМТ).

5. Приложения разработаны на языке Java под ОС Android для смартфонов. Программные модули имеют простой, удобный и интуитивно понятный интерфейс.

Заключение

В ходе проведенного диссертационного исследования получены следующие основные результаты:

1. Разработаны и апробированы численные методы извлечения антропометрических признаков, основанные на комбинации алгоритма сегментации изображений при помощи метода разрезов на графах и итеративного алгоритма ближайших точек (ИАБТ) при извлечении опорных точек; проведено улучшение качества изображения с помощью математических методов обработки изображений, обнаружение объектов с помощью алгоритма вычитания фона.

2. Разработан алгоритм классификации данных антропометрии методом случайного леса (Random Forest) для построения антропометрических моделей.

3. На основе численных экспериментов проведен анализ практических результатов извлечения антропометрических признаков; выполнено сравнение результатов предложенных алгоритмов с другими алгоритмами по точности; экспериментальные результаты показывают, что алгоритмы работают с высокой скоростью и точностью при извлечении и классификации антропометрических данных на изображениях и на видеопоследовательностях в присутствии шума и в близком к реальному режиме времени.

4. Построены антропометрические модели на основе полученных результатов классификации измерений: длин рук, высоты талии, обхвата бедер, обхвата груди, обхвата бицепса, обхвата шеи, длины спины, длины плеча, ширины плеча, высоты груди, обхвата талии.

5. Разработанные методы и алгоритмы апробированы при решении задач моделирования одежды и фитнес-тестирования, для этого были разработаны мобильные Андроид-приложения «E-Tailor» и «E-Fitness».

Список литературы

[1] Богуславский А. А. Компьютерное зрение = Computer Vision : [учеб. пособие] / А. А. Богуславский, Л. Шапиро. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний. : 2-е изд. (эл.), 2013. — С. 762.

[2] Грудинин С. Н. Предметная параметризация виртуальных манекенов / С. Н. Грудинин, В. Д. Фроловский // Автоматика и программная инженерия. — 2014. — Т. 1. — С. 53–56.

[3] MTailor – Stop Wearing Another Man's Clothing [Electronic resource] // [https://play.google.com/store/apps/details?id=com.mtailor.android&hl=en.]. — Дата доступа: 2017.

[4] Liu J. A Bayesian framework for 3D human motion tracking from monocular image / J. Liu, J. Yan, M. Tong [et al.] // IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. — 2010. — P. 1398–1401.

[5] Wang H. Dense trajectories and motion boundary descriptors for action recognition / H. Wang, A. Klaser, C. Schmid [et al.] // HAL-Journal Computer Vision. — 2013. — Vol. 103. — P. 60–79.

[6] Yan X. Modeling local behavior for predicting social interactions towards human tracking / X. Yan, I. A. Kakadiaris, S. K Shah // Pattern Recognition. — 2014. — Vol. 47. — P. 1626–1641.

[7] Pirsiavash H. Detecting activities of daily living in first-person camera views / H. Pirsiavash, D. Ramanan // IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. — 2012. — P. 2847–2854.

[8] Gan C. A deep event network for multimedia event detection and evidence recountings / C. Gan, N. Wang, Y. Yang [et al.] // IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. — 2015. — P. 2568–2577.

[9] Jainy M. What do 15,000 object categories tell us about classifying and localizing actions? / M Jainy, J. C Gemerty, C. G. M Snoek // IEEE Computer

Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. — 2015. — P. 46–55.

[10] Jordi G. Semantic Understaing of Human Behavior in Image Sequences / G. Jordi, T. B. Moeslund, L. Wang // Computer Vision and Image Understanding. — 2012. — Vol. 116. — P. 305–306.

[11] Konstantinos A. Activity detection using Sequential Statistical Boundary Detection (SSBD) / A. Konstantinos, B. Alexia, K. Yiannis // Computer Vision and Image Understanding. — 2016. — Vol. 144. — P. 46–61.

[12] YuChen. Single and sparese view 3D reconstruction by learning shape priors / YuChen, R. Cipollan // Computer Vision and Image Understanding. — 2011. — Vol. 115. — P. 586–602.

[13] Albiol A. Optimum color spaces for skin detection / A. Albiol, L. Torres, E. Delp // Proceedings of the International Conference on Image Processing (ICIP). — 2001. — P. 122–124.

[14] Barron C. Estimating anthropometry and pose from a single image / C. Barron, I. A. Kakadiaris // Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2000). — 2000. — Vol. 1. — P. 669–676.

[15] Taylors C. J. Reconstruction of articulated objects from point correspondences in a single uncalibrated image / C. J. Taylors // Computer Vision and Image Understanding. — 2000. — Vol. 80. — P. 349–363.

[16] Micilotta A. S. Detection and Tracking of Humans by Probabilistic Body Part Assembly / A. S. Micilotta, E. J. Ong, R. Bowden // Proc. BMVC. — 2005. — P. 44.1–44.10.

[17] Mikolajczyk K. Human detection based on a probabilistic assembly of robust part detectors / K. Mikolajczyk, C. Schmid, A. Zisserman // European Conference on Computer Vision (ECCV'04). — 2004. — Vol. 69. — P. 69–82.

[18] Roberts T. Human poses estimation using learnt probabilistic region similarities and partial configurations / T. Roberts, S. McKenna, I. Ricketts // European Conference on Computer Vision (ECCV'04). — 2004. — Vol. 69. — P. 291–303.

[19] Ronfard R. Learning to parse pictures of people / R. Ronfard, C. Schmid, B. Triggs // European Conference on Computer Vision (ECCV'02). — 2002. — Vol. 4. — P. 700–714.

[20] Ярославский Л. П. Введение в цифровую обработку изображений / Л. П. Ярославский. — М.: Сов. радио., 1979. — С. 312.

[21] Белявцев В. Г. Алгоритмы фильтрации изображений с адаптацией размеров апертуры / В. Г. Белявцев, Ю. Е. Воскобойников // Автометрия. — 1998. — Т. 3. — С. 18–25.

[22] Сизиков В. С. Обратные прикладные задачи и MatLab / В. С. Сизиков. — Санкт-Петербург : СПб: Лань, 2011. — С. 256 с.

[23] Kokaram A. C. Motion Picture Restoration: Digital Algorithms for Artefact Suppression in Degraded Motion Picture Film and Video / A. C. Kokaram. — Springer Science & Business Media, 2013. — P. 334.

[24] Sidorov D. Integral Dynamical Models: Singularities, Signals and Control / D. Sidorov. — Singapore : World Scientific Pte Ltd, 2015. — P. 260.

[25] Paul K. Integration of bottom-up/top-down approaches for 2D pose estimation using probabilistic Gaussian modelling / K. Paul, D. Makris, J. C. Nebell // Computer Vision and Image Understanding. — 2011. — Vol. 115. — P. 242–255.

[26] Michael H. 3D Human model adaptation by frame selection and shape-textture aptimization / H. Michael, M. D. Gavrila // Computer Vision and Image Understanding. — 2011. — Vol. 115. — P. 1559–1570.

[27] Wuhrer S. Estimation of human body shape and posture under closthing / S. Wuhrer, L. Pishchulin, A. Brunton [et al.] // Computer Vision and Image Understanding. — 2014. — Vol. 127. — P. 31–42.

[28] Зубюк А. В. Алгоритмы идентификации изображений в случайной и нечёткой морфологии / А. В. Зубюк // Математические методы распознавания образов, 13-я Всероссийская конференция: Сб. докл. — 2007. — С. 30–32.

[29] Зубюк А. В. Вычисления на графических процессорах в задачах анализа сцен по их изображениям методами случайной морфологии / А. В. Зубюк // Математическое моделирование. — 2013. — Т. 25, № 7. — С. 48–58.

[30] Нгуен Т. Л. Методы математической морфологии в цифровой обработке изображений / Т. Л. Нгуен, Т.Х. Нгуен // Труды XIX Байкальской Всероссийской конференции «информационные и математические технологии в науке и управлении». — 2014. — Т. 9, № 3. — С. 75–81.

[31] Wang C. Inference and Learning of Graphical Models: Theory and Applications in Computer Vision and Image Analysis / C. Wang, K. Nikos, I. Hirosshi [et al.] // Computer Vision and Image Understanding. — 2016. — Vol. 143. — P. 52–53.

[32] Maria G. F. Specialissueon Assistive Computer Vision and Robotics / G. F. Maria, K. Takeo, L. Marco [et al.] // Computer Vision and Image Understanding. — 2016. — Vol. 148. — P. 1–3.

[33] Ioannis K. Combinatorial preconditions ersand muti-level solvers for problem in computer vision and image processing / K. Ioannis, L. Gary, T. David // Computer Vision and Image Understanding. — 2011. — Vol. 115. — P. 1638–1646.

[34] Lauren B. Real-world scene perception and perceptual organization: Lessons from Computer Vision / B. Lauren, J. Sheynin // Journal of Vision. — 2011. — Vol. 115. — P. 709–711.

[35] KumarSaha P. A local morphometric parameter with applications to computer vision and image processing / P. KumarSaha, S. Tensor // Computer Vision and Image Understanding. — 2005. — Vol. 99. — P. 384–413.

[36] Сизиков В. С. Интегральные уравнения и MatLab в задачах томографии, иконики и спектроскопии / В. С. Сизиков. — Санкт-Петербург : СПб - Saarbrucken: LAP (LAMBERT Academic Publishing), 2011. — С. 260.

[37] Сиразитдинов А. В. Классификация цифровых маммограмм с использованием набора классификаторов / А. В. Сиразитдинов, Т. А. Семенов //

Материалы X Международной научно-технической конференции молодых специалистов, аспирантов и студентов. — 2016. — С. 96–101.

[38] Rosenfeld A. Image Analysis and Computer Vision / A. Rosenfeld // Computer Vision and Image Understanding. — 2000. — Vol. 78. — P. 222–302.

[39] Fan G. Special section on Advances in Machine Vision Beyond the Visible Spectrum (BVS) / G. Fan, R. I. Hammoud, F. Sadjadi [et al.] // Computer Vision and Image Understanding. — 2013. — Vol. 117. — P. 1645–1646.

[40] Sidorov D. N. Automatic Defects Classification with p-median Clustering Technique / D. N. Sidorov, S.W. Wong, I. Vasilyev [et al.] // Proc. of 10th Intl Conf. on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV). — 2008. — P. 775–780.

[41] Huang T. S. Computer vision needs more experiments and applications / T. S. Huang // CVGIP: Image Understanding. — 1991. — Vol. 53. — P. 125–126.

[42] Kevin W. Computer vision needs more experiments and applications / W. Kevin, B. Judson, P. Jones // CVGIP: Image Understanding. — 1991. — Vol. 53. — P. 127–128.

[43] Abebe G. Robust multi-dimensional motion features for first-person vision activity recognition / G. Abebe, A. Cavallaro, X. Parra // Computer Vision and Image Understanding. — 2016. — Vol. 149. — P. 229–248.

[44] Sidorov Denis N. Suppression of moiré patterns via spectral analysis / Denis N Sidorov, Anil C Kokaram // Electronic Imaging 2002 / International Society for Optics and Photonics. — 2002. — P. 895–906.

[45] Sidorov D. N. Removing moire from degraded video archives / D. N. Sidorov, A. C. Kokaram // Signal Processing Conference, 2002 11th European / IEEE. — 2002. — P. 1–4.

[46] Zhu Z. Robust multi-dimensional motion features for first-person vision activity recognition / Z. Zhu, D. R. Karuppiah, E. M. Riseman [et al.] // Computer Vision and Image Understanding. — 2004. — Vol. 149. — P. 229–248.

[47] Vayda A. J. A robot vision system for recognition of generic shape objects / A. J. Vayda, A. C. Kak // CVGIP: Image Understanding. — 1991. — Vol. 54. — P. 1–46.

[48] Cormier M. Purely vision-based segmentation of web pages for assistive technology / M. Cormier, K. Moffatt, R. Cohen [et al.] // CVGIP: Image Understanding. — 2016. — Vol. 148. — P. 46–66.

[49] Sidorov D. N. Robust retrieval from compressed medical image archives / D. N. Sidorov, J. F. Lerallut, J. P. Cocquerez [et al.]. — Vol. 5748. — 2005. — P. 419–426.

[50] Meer P. Robust Computer Vision: An Interdisciplinary Challenge / P. Meer, V. C. Stewart, D. E. Tyler // Computer Vision and Image Understanding. — 2000. — Vol. 78. — P. 1–7.

[51] Kuharenko A. FindFace [Electronic resource] // [http://www.Findface.ru.]. — Russia : [s. n.]. — Дата доступа: 2017.

[52] Murino V. Underwater Computer Vision and Pattern Recognition / V. Murino, A. Trucco // Computer Vision and Image Understanding. — 2000. — Vol. 79. — P. 1–3.

[53] Bengio Y. Deep learning of representations: looking forward. In Statistical Language and Speech Processing / Y. Bengio // Springer. — 2013. — Vol. 7978. — P. 1–37.

[54] Battiato S. Instant Scene Recognition on Mobile Platform / S. Battiato, G. M. Farinella, M. Guarnera [et al.] // Computer Vision and Pattern Recognition Workshop, IEEE Computer Society Conference. — 2012. — P. 655–658.

[55] Hannuksela J. Vision-based motion estimation for interaction with mobile devices / J. Hannuksela, P. Sangi, J. Heikkila // Computer Vision and Image Understanding. — 2007. — Vol. 108. — P. 188–195.

[56] Shubina K. Visual search for an object in a 3D environment using a mobile robot / K. Shubina, J. K. Tsotsos // Computer Vision and Image Understanding. — 2010. — Vol. 114. — P. 535–547.

[57] MiniMovie-Slideshow Video Edit [Electronic resource] // [https://play.google.com/store/apps/details?id=com.asus.microfilm&hl=en]. — Дата доступа: 2017.

[58] Video Editor [Electronic resource] // [https://play.google.com/store/apps/details?id=com.wevideo.mobile.android&hl=en]. — Дата доступа: 2017.

[59] Маскарад [Electronic resource] // [https://play.google.com/store/apps/details?id=me.msqrd.android&hl=ru]. — Дата доступа: 2017.

[60] Местецкий, Л. М. Математические методы распознавания образов [Текст] / Л. М. Местецкий // М.: МГУ, ВМиК. — 2002-2004. — С. 85.

[61] ГОСТ Р ИСО 3635-99 Одежда. Размеры. Определения, обозначения и требования к измерению [Электронный ресурс] // [http://www.internet-law.ru/gosts/gost/8932/]. — Дата доступа: 2017.

[62] EN 13402 Европейский стандарт указания размеров одежды [Электронный ресурс] // [https://ru.wikipedia.org/wiki/EN-13402]. — Дата доступа: 2017.

[63] Jones M. J. Statistical color models with application to skin detection / M. J. Jones, J. M. Rehg // Interna- tional Journal of Computer Vision (IJCV). — 2002. — Vol. 46. — P. 81–96.

[64] Dubinskiy A. A multi-scale generative model for animate shapes and parts / A. Dubinskiy, S. C. Zhu // IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). — 2003.

[65] Kpalma K. Multiscale contour description for pattern recognition / K. Kpalma, J. Ronsin // Pattern Recognition Letters. — 2006. — Vol. 27. — P. 1545–1559.

[66] How to measure [Electronic resource] // [http://www.eventsclothing.co.nz/size-chart/]. — Дата доступа: 2017.

[67] Toldo R. Visual vocabulary signature for 3D object retrieval and partial matching / R. Toldo, U. Castellani, A. Fusiello // Eurographics Workshop on 3D Object Retrieval. — 2009. — P. 21–28.

[68] Ponce J. On recognizing and positioning curved 3-D objects from image contours / J. Ponce, D. J. Kriegman // Image Understanding Workshop. — 1989. — P. 461–470.

[69] Zhang C. Efficient feature extraction for 2D/3D objects in mesh representation / C. Zhang, T. Chen. — Thessaloniki, Greece : 2001.

[70] Грудинин С. Н. Автоматизация проектирования нестандартных параметризованных 3D манекенов / С. Н. Грудинин, Г. Балжирсурэн // Научный весник НГТУ 2009. — 2009. — Т. 1. — С. 117–128.

[71] Fink B. K. G. Visible skin color distribution plays a role in the perception of age, attractiveness, and health in female faces / B. K. G Fink, P. J. Matts // Evolution and Human Behavior. — 2006. — Vol. 27. — P. 433–442.

[72] Shin M. C. Does colorspace transformation make any difference on skin detection? / M. C. Shin, K. I. Chang, L. V. Tsap // WACV ’02: Proceedings of the Sixth IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, IEEE Computer Society. — 2002. — P. 275–283.

[73] Семенов Т. А. Автоматическое восстановление цвета на изображении / Т. А. Семенов, А. В. Сиразитдинов // Материалы X Международной научно-технической конференции молодых специалистов, аспирантов и студентов. — 2016. — С. 80–83.

[74] Mori G. Estimating Human Body Configurations using Shape Context Matching / G. Mori, J. Malik // European Conference on Computer Vision (ECCV 2002). — 2002. — P. 666–680.

[75] Belongie S. Shape matching and object recognition using shape contexts / S. Belongie, J. Malik, J. Puzicha // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. — 2002. — Vol. 24, №. 4. — P. 509–522.

[76] Mittal A. Human body pose estimation using silhouette shape analysis / A. Mittal, L. Zhao, L. S. Davis // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. — 2003. — P. 263–270.

[77] Lin Y. L. Automatic Feature Extraction from Front and Side Images / Y. L. Lin, M. J. Wang // Industrial Engineering and Engineering Management. — 2008. — P. 1949–1953.

[78] Lin Y. L. Constructing 3D Human Model from 2D images / Y. L. Lin, M. J. Wang // Industrial Engineering and Engineering Management. — 2010. — P. 1902–1906.

[79] Lin Y. L. Constructing 3D human model from front and side images / Y. L. Lin, M. J. Wang // Expert Systems with Applications. — 2012. — Vol. 39, №. 5. — P. 5012–5018.

[80] Ikizler N. Searching for complex human activities with no visual examples / N. Ikizler, D. A. Forsyth // Journal of Computer Vision. — 2008. — Vol. 80, №. 3. — P. 337–357.

[81] Osameh B. Human Detection Using SURF and SIFT Feature Extraction Methods in Different Color Spaces / B. Osameh, A. Reza, R. Majid // J. Math. Computer Sci. — 2014. — Vol. 11. — P. 111–122.

[82] Harris C. A combined corner and edge detector / C. Harris, M. Stephens // Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference. — 1988. — P. 147–151.

[83] Nadadur G. A quantile-based anthropometry synthesis technique for global user populations / G. Nadadur, U. Raschke, M. B. Parkinson // International Journal of Industrial Ergonomics. — 2016. — Vol. 53. — P. 167–178.

[84] Adams C. Accuracy of blood pressure measurement and anthropometry among volunteer observers in a large community survey / C. Adams, V. Burke, L. J. Beilin // Journal of Clinical Epidemiology. — 2002. — Vol. 55. — P. 338–344.

[85] Jiang L. Automatic body feature extraction from front and side Images / L. Jiang, J. Yao, B. Li [et al.] // A Journal of Software Engineering and Applications. — 2012. — Vol. 5. — P. 94–100.

[86] Canny J. A computational approach to edge detection / J. Canny // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine In-telligence. — 1986. — Vol. 8, №. 6. — P. 679–698.

[87] Freeman H. On the encoding of arbitrary geometric con-figuration / H. Freeman // IRE Transactions on Electronics Computers. — 1961. — Vol. EC-10, №. 2. — P. 264–268.

[88] Nevatia B. R. Detection and Segmentation of Multiple, Partially Occluded Objects by Grouping, Merging, Assigning Part Detection Responses / B. R. Nevatia // Journal of Computer Vision. — 2009. — Vol. 82, №. 2. — P. 185–204.

[89] Ioffe S. Probabilistic Methods for Finding People / S. Ioffe, D. A. Forsyth // International Journal of Computer Vision. — 2001. — Vol. 43, №. 1. — P. 45–68.

[90] Leva P. D. Adjustments to Zatsiorsky Seluanov's Segment Inertia Parameters / P. D. Leva // Journal of Biomechanics. — 1996. — Vol. 29, №. 9. — P. 1223–1230.

[91] Бустинг [Электронный ресурс] // [http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=\T2A\CYRB\T2A\cyru\T2A\cyrs\T2A\cyrt\T2A\cyri\T2A\cyrn\T2A\cyrg.]. — Дата доступа: 2017.

[92] Baek S. Y. Parametric Human Body Shape Modeling Framework for Human Centered Product design / S. Y. Baek, K. Lee // Computer-Aided Design. — 2012. — Vol. 44. — P. 56–67.

[93] Siebert J. Human body 3d imaging by speckle texture projection photogrammetry / J. Siebert, S. Marshall // Sensor Review. — 2000. — Vol. 20, №. 3. — P. 218–226.

[94] Seo H. Interactive modelling of MPEG-4 deformable human body models / H. Seo, F. Cordier, L. Philippon [et al.] // Deformable avatars:postproceedings of DEFORM 2001 workshop. — 2001. — P. 120–131.

[95] Blanz V. A Morphable Model for The Synthesis of 3d Faces / V. Blanz, T. Vetter // Proceedings of the 26th annual conference on computer graphics and interactive techniques (SIGGRAPH 99). — 1999. — P. 120–131.

[96] Allen B. The space of human body shapes: reconstruction and parameterization from range scans / B. Allen, B. Curless, Z. Popovic // ACM Transactions on Graphics. — 2003. — Vol. 22, №. 3. — P. 587–594.

[97] Seo H. An automatic modeling of human bodies from sizing parameters / H. Seo, T. N . Thalmann // Proceedings of ACM SIGGRAPH 2003 symposium on interactive 3D graphics. — 2003. — P. 19–26.

[98] Seo H. An example-based approach to human bodymanipulation / H. Seo, T. N . Thalmann // Graphical Models. — 2004. — Vol. 66, №. 1. — P. 1–23.

[99] Taeyoung U. Fully vision-based automatic human body measurement system for apparel application / U. Taeyoung, H. Park, J. I. Park // Measurement 61 (2015). — 2015. — Vol. 61. — P. 169–179.

[100] McCulloch C. E. An optimisation approach toapparel sizing / C. E. McCulloch, B. Paal, S. P. Ashdown // Oper. Res. Soc. (1998). — 1988. — Vol. 61. — P. 492–499.

[101] Lee S. Mass-customization methodology for an apparel industry with a future / S. Lee, J. C. Chen // Technol. (2000). — 2000. — P. 1–8.

[102] Sagiv C. Integrated Active Contours for Texture Segmentation / C. Sagiv, N. Sochen, Y. Y. Zeevi // IEEE Transactions on Image Processing. — 2006. — Vol. 15, №. 6. — P. 1633–1646.

[103] Raviv R. T. Prior Based Segmentation and Shape Registration in The Presence of Projective Distortion / R. T. Raviv, N. Kiryati, N. Sochen // International Journal of Computer Vision. — 2007. — Vol. 72, №. 3. — P. 309–328.

[104] Mortensen E. N. Intelligent Scissors for Image Composition / E. N. Mortensen, W. A. Barrett // Computer Graphics (SIGGRAPH ‘95). — 1995. — P. 191–198.

[105] Lankton S. Localizing Region-Based Active Contours / S. Lankton, D. Tannenbaum // Image Processing, IEEE Transactions on. — 2008. — Vol. 17, №. 11. — P. 2029–2039.

[106] Lankton S. A binary level set model and some applications to Mumford-Shah image segmentation / S. Lankton, D. Tannenbaum // IEEE Transactions on Image Processing. — 2006. — Vol. 15, №. 5. — P. 1171–1181.

[107] Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms / N. Otsu // IEEE Trans. Sys., Man., Cyber. — 1979. — Vol. 9, №. 1. — P. 62–66.

[108] Parvathy R. A Review on Various Graph Cut Based Image Segmentation Schemes / R. Parvathy, J. S. Livingston // International Journal of Advances in Engineering Science and Technology. — 2001. — Vol. 2, №. 3. — P. 379–382.

[109] Нгуен Т. Х. О распознавании и классификации дефектов дорожного покрытия на основе изображений / Т. Х. Нгуен, Т. Л. Нгуен // Вестник ИРНИТУ. — 2016. — № 10. — С. 111–118.

[110] Nguyen T. H. On Road Defects Detection and Classification / T. H. Nguyen, T. L. Nguyen, A. Zhukov // Supplementary Proceedings of the 5th International Conference on Analysis of Images, Social Networks and Texts (AIST 2016). — 2016. — Vol. 1710. — P. 266–278.

[111] Boykov Y. Fast approximate energy minimization via Graph Cuts / Y. Boykov, V. Zabih // IEEE PAMI. — 2001. — Vol. 23, №. 11. — P. 1222–1239.

[112] Section 26.2: The Ford–Fulkerson method / T. H. Cormen, C. E. Leiserson, R. L. Rivest, S. Clifford // Introduction to Algorithms (Second ed.). MIT Press and McGraw–Hill. — 2001. — P. 651–664.

[113] Besl P. A Method for Registration of 3-D Shapes / P. Besl, N. McKay // IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intel. — 1992. — Vol. 14, №. 2. — P. 239–256.

[114] Gelfan N. Geometrically Stable Sampling for the ICP Algorithm / N. Gelfan, L. Ikemoto, S. Rusinkiewicz [et al.] // Fourth International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling. — 2003. — P. 260.

[115] Rusinkiewicz, S. Efficient Variants of the ICP Algorithm / S. Rusinkiewicz, M. Levoy // Third International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling. — 2001. — P. 145.

[116] Hast A. Optimal RANSAC – Towards a Repeatable Algorithm for Finding the Optimal Set / A. Hast, N. Johan, A. Marchetti // Journal of WSCG. — 2013. — Vol. 21, №. 1. — P. 21–30.

[117] Сергеев В. В. Применение методологии распознавания образов в задачах цифровой обработки изображений / В. В. Сергеев // Автометрия. — 1998. — № 2. — С. 63–67.

[118] Сойфер В. А. Теоретические основы цифровой обработки изображений / В. А. Сойфер, В. В. Сергеев, С. Б. Попов [и др.] // Учебное пособие, СГАУ. — 2000. — № 2. — С. 256–232.

[119] Фан Н. Х. Распознавание жестов на видеопоследовательности в режиме реального времени на основе применения метода Виолы-Джонса, алгоритма CAMShift, вейвлет-преобразования и метода главных компонент / Н. Х. Фан, Т. Т. Ч. Буй, В. Г. Спицын // Вестник Томского государственного университета. – Томск: ТГУ. — 2013. — № 2. — С. 102–111.

[120] Пахирка А. И. Компьютерный метод локализации лиц на изображениях в сложных условиях освещения / А. И. Пахирка // Автореферат– Красноярск. — 2013. — С. 1–16.

[121] Goldstein A. J. Identification of Human Faces / A. J. Goldstein, L. D. Harmon, A. B. Lesk // Proceeding of the IEEE. — 1991. — Vol. 59. — P. 748–760.

[122] Kang J. Human Motion Modeling and Simulation by Anatomical Approach / J. Kang, B. Badi, Y. Zhao [et al.] // Proceeding of the IEEE. — 2006. — Vol. 5. — P. 1325–1332.

[123] Saaidi A. Self Calibration using a Particular Motion of Camera / A. Saaidi, A. Halli, H. Tairi [et al.] // PWSEAS Transaction on Computer Research. — 2008. — Vol. 3. — P. 295–299.

[124] Ярышев С. Н. Цифровые методы обработки видеоинформации и видеоаналитика / С. Н. Ярышев // Учебное пособие, СПбГУ ИТМО. — 2011. — Т. 3. — С. 83–103.

[125] Belhumeur P. N. Recognition Using Class Specific Linear Projection / P. N. Belhumeur, J. P. Hespanha, D. J. Kriegman // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. — 1997. — Vol. 19. — P. 711–720.

[126] Hallinan P. L. Two- and Three-Dimensional Patterns of the Face / P. L. Hallinan, G. G. Gordon, A. L. Yuille [et al.] // Natick: A.K. Peters Ltd. — 1999. — P. 260–278.

[127] Freund Y. A Decision Theoretic Generalization of On-Line Learning and an Application on Boosting / Y. Freund, R. E. Schapire // Journal of computer and system sciences. — 1997. — Vol. 55. — P. 119–139.

[128] Freund Y. Experiments with a New Boosting Algorithm / Y. Freund, R. E. Schapire // Machine Learning: Proceedings of the Thirteenth International Conference. — 1996. — Vol. 55. — P. 148–156.

[129] Sochman J. AdaBoost with totally corrective updates for fast face detection / J. Sochman, J. Matas // IEEE Conference. — 2004. — URL: http://cmp.felk.cvut.cz/~sochmj1/.

[130] Su Y. Multiple Fisher Classifiers Combination for Face Recognition based on Grouping AdaBoosted Gabor Features / Y. Su, S. Shan, B. Cao [et al.] // Proceedings of British Machine Vision Conference. — 2005.

[131] Viola P. Fast and Robust Classification Using Symmetric AdaBoost and a Detector Cascade / P. Viola, M. Jones // Neural Information Processing Systems. — 2001. — P. 1311–1318.

[132] Viola P. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features / P. Viola, M. Jones // IEEE Conf. On Computer Vision and Pattern Recognition. — 2001. — Vol. 1. — P. 511–518.

[133] Viola P. Robust real-time face detection / P. Viola, M. Jones // International Journal of Computer Vision. — 2004. — Vol. 57, №. 2. — P. 137–154.

[134] Masoud M. Face Recognition using Wavelet, PCA, and Neural Networks / M. Masoud, S. Kasaei // Proceeding of the First International Conference on Modeling, Simulation and Applied Optimization. — 2005. — P. 1–3.

[135] Hinton G. E. Improving neural networks by preventing co-adaptation of feature detectors / G. E. Hinton, N. Srivastava, A. Krizhevsky [et al.]. — Canada : 2012.

[136] Sergios T. Pattern Recognition / T. Sergios, K. Koutroumbas. — 2006.

[137] Dunne R. A. A Statistical Approach to Neural Networks for Pattern / R. A. Dunne. — 2007.

[138] Colin F. Artificial Neural networks and Information Theory / F. Colin. — 2000.

[139] Kamruzzaman J. Artificial Neural Networks in Finance and Manufacturing / J. Kamruzzaman, R. Begg. — 2006.

[140] Rowley H. A. Neural network-based face detection / H. A. Rowley, S. Baluja, T. Kanade // IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 20. — 1998. — P. 23–38.

[141] Lin S. H. Face recognition/detection by probabilistic decision-based neural network / S. H. Lin, S. Y. Kung, L. J. Lin // IEEE Trans. Neural Networks. — 1997. — P. 114–132.

[142] Juell P. A hierarchical neural network for human face detection / P. Juell, R. Marsh // IEEE Trans. Neural Networks. — 1996. — Vol. 29. — P. 781–787.

[143] Vapnik V. Support-vector networks / V. Vapnik, C. Cortes // Machine Learning. — 1995. — Vol. 20. — P. 273–297.

[144] Nasser H. D. Real-Time Hand Gesture Detection and Recognition Using Bag-of-Features and Support Vector Machine Techniques / H. D. Nasser,

N. D. Georganas // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. — 2011. — Vol. 60, №. 11. — P. 3592–3607.

[145] Dardas N. Hand gesture recognition using bag-of-features and multi-class support vector machine / N. Dardas, Q. Chen, N. Georganas [et al.] // 9th IEEE Int. Workshop HAVE. — 2010. — P. 1–5.

[146] Jiang Y. Towards optimal bag-of features for object categorization and semantic video retrieval / Y. Jiang, C. Ngo, J. Yang // ACM Int. Conf. Image Video Retrieval. — 2007. — P. 494–501.

[147] Lazebnik S. Beyond bags of features: Spatial pyramid matching of recognizing natural scene categories / S. Lazebnik, C. Schmid, J. Ponce // IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recog. — 2006. — P. 2169–2178.

[148] Yogameena B. Support Vector Machine-Based Human Behavior Classification in Crowd through Projection and Star Skeletonization / B. Yogameena, E. Komagal, M. Archana [et al.] // Journal of Computer Science. — 2010. — Vol. 6, №. 9. — P. 1008–1013.

[149] Nguyen T. L. Studies of anthropometrical features using machine learning approach / T. L. Nguyen, T. H. Nguyen, A. Zhukov // Analysis of images, social networks, and texts-ASIT2015. — 2015. — Vol. 1452. — P. 96 –105.

[150] Курбацкий В. Г. Прогнозирование нестационарных временных рядов на основе преобразования Гильберта–Хуанга и машинного обучения / В. Г. Курбацкий, Д. Н. Сидоров, В. А. Спиряев [et al.] // Автомат. и телемех. — 2014. — Т. 5. — С. 143–158.

[151] Breiman L. Manual On Setting Up, Using, And Understanding Random Forests V3.1 / L. Breiman // Machine Learning Journal Paper. — 2002. — URL: http://oz.berkeley.edu/users/breiman/Using_random_forests_V3.1.pdf.

[152] Breiman L. Random Forests / L. Breiman // Machine Learning Journal Paper. — 2001. — Vol. 45.

[153] Zhukov A. V. Random Forest Based Approach for Concept Drift Handling / A. V. Zhukov, D. N. Sidorov, A. M. Foley // AIST 2016: Analysis of Images, Social Networks and Texts. — 2016. — P. 69–77.

[154] Biggio B. A survey and experimental evaluation of image spam filtering techniques / B. Biggio, G. Fumera, I. Pillal [et al.] // Pattern Recognition Letters. — 2011. — Vol. 32. — P. 1436–1446.

[155] Graham D. B. Face recognition using virtual parametric eigenspace signatures / D. B. Graham, N. M. Allinson // Image Processing and its Applications. — 1997. — P. 106–110.

[156] Zouhour Z. B. Automatic locating of anthropometric landmarks on 3d human models / Z. B. Zouhour, C. Shu, A. Mantel // IEEE Computer Society-Proceedings of the Third International Symposium on 3D Data Processing, Visualization, and Transmission (3DPVT'06). — 2006. — P. 750–757.

[157] Robinette K. M. Precision of the CAESAR scan-extracted measurements / K. M. Robinette, H. A. Daanen // Applied Ergonomics. — 2006. — Vol. 37, №. 3. — P. 259–265.

[158] SizeUK - The National Sizing Survey [Electronic resource] // [http://www.sizemic.eu/sizeuk.html]. — London-UK : SizeUK on Sizemic website. — Дата доступа: 2017.

[159] SizeUSA - The National Sizing Survey [Electronic resource] // [http://www.sizeusa.com]. — USA : SizeUSA on Sizemic website. — Дата доступа: 2017.

[160] Breuckmann gmbh web site [Electronic resource] // [http://www.breuckmann.com.]. — USA : DOPR2016. — Дата доступа: 2017.

[161] Sobota B. 3D Scanner Data Processing / B. Sobota, M. Rovnak, C. Szabo // Journal of Information, Control and Management Systems. — 2009. — Vol. 9, №. 2. — P. 173–181.

[162] Сизиков В. С. Предшествующая и последующая фильтрация шумов в алгоритмах восстановления изображений / В. С. Сизиков, Р. А. Экземпля-

ров // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. — 2014. — Т. 89. — С. 112–122.

[163] Burger W. Fundamental Techniques / W. Burger, M. J. Burge. — Springer-Verlag London, 2009.

[164] Solomon C. Practical Approach with Examples in Matlab / C. Solomon, T. Breckon. — Springer-Verlag, 2011. — ISBN: 978-0-470-84472-4.

[165] Tamersoy B. Background Subtraction [Electronic resource] // [http://www.cs.utexas.edu/~grauman/courses/fall2009/slides/lecture9_background.pdf.]. — Дата доступа: 2017.

[166] Mittal A. Motion Based Background Subtraction using Adaptive Kernel Density Estimation / A. Mittal, M. Paragios // IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2004). — 2004. — P. 302–309.

[167] Stauffer C. Adaptive Background mixture models for Real-time tracking / C. Stauffer, W. Grimson // Computer Vision of Pattern Recognition. — 2009. — Vol. 2. — P. 750–755.

[168] Cremers D. Continuous and Discrete Optimization Methods in Computer Vision [Electronic resource] // [http://cms.brookes.ac.uk/research/visiongroup/talks/cremers/cremers_oxford07.pdf.]. — Дата доступа: 2017.

[169] Talita A. P. Technical error of measurement in anthropometry / A. P. Talita, L. O. Glauber, S. O. Juliana [et al.] // Rev Bras Med Esporte. — 2005. — Vol. 11, №. 1. — P. 86–90.

[170] Ulijaszek S. J. Anthropometric measurement error and the assessment of nutritional status / S. J. Ulijaszek, D. A. Kerr // British Journal of Nutrition. — 1999. — Vol. 82. — P. 165–177.

[171] Нгуен Т. Л. Об автоматизации извлечения и классификации антропометрических признаков / Т. Л. Нгуен, Т. Х. Нгуен // Вестник Иркутского гос. технического ун-та. — 2015. — С. 17–23.

[172] Nguyen L. T. Automatic Anthropometric System Development Using Machine Learning / L. T. Nguyen, H. T. Nguyen // BRAIN. Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience. — 2016. — Т. 7, № 2. — С. 5–15.

[173] Weka java code for Random Forest [Electronic resource] // [http://www.codemiles.com/weka-examples/weka-java-code-for-random-forest-cross-validation-t11128.html]. — Дата доступа: 2017.

[174] Min3D library [Electronic resource] // [https://code.google.com/p/min3d.]. — Дата доступа: 2017.

[175] MakeHuman library [Electronic resource] // [http://www.makehuman.org.]. — Дата доступа: 2017.

[176] Zendler A. Advanced Concepts, Life Cycle Models and Tools for Object-Oriented Software Development / A. Zendler, S. Gastinger, W. Hensse [et al.]. — Tectum Verlag, 1997. — P. 273.

[177] Shimizu M. Significance and attributes of subpixel estimation on area-based matching / M. Shimizu, M. Okutomi // Syst. Comp. Jpn. — 2003. — Vol. 34, №. 12. — P. 1–10.

[178] Половинкин Е. С. Элементы выпуклого и сильно выпуклого анализа / Е. С. Половинкин, М. В. Балашов. — М.: Физматлит, 2004. — С. 416. — ISBN: 5-9221-0499-3.

[179] Орлов А. Продажи Android-смартфонов в 2014 году побили все рекорды [Электронный ресурс] // [http://myandroid.ru/prodazhi-android-smartfonov-v-2014-godu-pobili-vse-rekordy]. — Дата доступа: 2017.

[180] OpenCV - Open source computer vision [Electronic resource] // [http://opencv.org/.]. — Дата доступа: 2017.

Список иллюстраций

1.1 Описание структуры системы МЗ 14
1.2 Описание антропометрических признаков 19
1.3 Маркировка контура в методе извлечения антропометрических признаков на основе опорных точек [77] 22
1.4 Описание системы распознавания объекта на основе обнаружения каждой его части [88] 23
1.5 Описание метода извлечения антропометрических признаков на основе сканирования тела [92] 24
1.6 Описание системы извлечения антропометрических признаков в остеопатии [99] 24
1.7 Пример сегментации объекта на основе разрезов на графах [108] . 26
1.8 Описание алгоритма AdaBoost [129] применительно в методу поиска лиц Viola-Jones 29

2.1 Блок-схема антропометрической системы 39
2.2 Процесс извлечения антропометрических признаков 40
2.3 Описание формы структурных элементов 43
2.4 Форма 4 соседей (N4) и 8 соседей (N8) 44
2.5 Результат вычитания фона (область интереса – ROI) 46
2.6 Моделирование телосложения для сегментации изображения. h (рост) – параметр калибровки 48
2.7 Результат сегментации на основе разрезов на графах 49
2.8 Примеры моделирования для расчетов обхватов шеи и груди 51
2.9 Блок-схема алгоритма извлечения антропометрических признаков на изображениях 53
2.10 Блок-схема алгоритма извлечения антропометрических признаков на видеопоследовательностях 55
2.11 Закон распределения технической погрешности измерения ширины плеча 56
2.12 Закон распределения погрешности измерений по формуле (2.13) . . 57
2.13 Погрешности по формуле (2.13) для различных разрешений 58

2.14 Закон распределения погрешности измерений по формуле (2.16) . . 59
2.15 Результат обнаружения 24 опорных точек [171; 172] 60
2.16 Результат обнаружения 28 опорных точек [171; 172] 60
2.17 Погрешность в двух случаях в извлечении антропометрических признаков. Случай 1: используется 24 опорных точек на контуре человеческого тела. Случай 2: используется 28 опорных точек на контуре человеческого тела 62
2.18 Точность извлечения признаков на основе погрешности MAPE. Случай 1: используется 24 опорных точек на контуре человеческого тела. Случай 2: используется 28 опорных точек на контуре человеческого тела 62
2.19 Предложенная модель 64
2.20 Загрузить и показать текстуры в 3D модели 66
2.21 Время работы классификации для каждого набора данных 68

3.1 Общепринятая модель жизненного цикла программного обеспечения [176] 70
3.2 Структура ПО 72
3.3 Диаграмма прецедентов – использование системы компьютерного зрения приложения E-Tailor 73
3.4 Диаграмма классов – системы экспресс антропометрии – приложения E-Tailor 73
3.5 Диаграмма последовательности – система компьютерного зрения в антропометрии приложения E-Tailor 74
3.6 Диаграмма прецедентов – использование системы компьютерного зрения приложения E-Fitness 75
3.7 Диаграмма классов – системы экспресс антропометрии – приложения E-Fitness 75
3.8 Диаграмма последовательности – система компьютерного зрения в антропометрии приложения E-Fitness 76
3.9 Пример данных эксперимента 78
3.10 Результаты извлечения антропометрических признаков и 3D-моделей для женщин 79

3.11 Результаты извлечения антропометрических признаков и 3D-моделей для мужчин 80

4.1 Структура директории и файлов проекта ПО Андроид на Eclipse . 85
4.2 Структура файла Manifest 86
4.3 Структура OpenCV 87
4.4 Структура библиотеки моделирования Min3D 89
4.5 Основный интерфейс приложения E-Tailor 90
4.6 Интерфейс функции «Take photos» 91
4.7 Интерфейс функции «Take video» 91
4.8 Результат функции выбора размеров одежды 92
4.9 Основный интерфейс приложения E-Fitness 92
4.10 Интерфейс функции «Take photos» 93
4.11 Интерфейс функции «Take video» 93
4.12 Интерфейс работы программы 93
4.13 Результат 3D-моделей 94
4.14 Результат анализа антропометрических признаков и сравнение с идеальными пропорциями телосложения 94

Список таблиц

2.1 Результат анализа апостериорной оценки погрешности 58
2.2 Результат извлечения антропометрических признаков и погрешности системы компьютерного зрения при использовании 24 опорных точек [171; 172] 61
2.3 Результат извлечения антропометрических признаков и погрешности системы компьютерного зрения после применения калибровки извлеченных 28 опорных точек [171; 172] 61
2.4 Результаты классификации на основе алгоритма случайного леса [171; 172] 67
2.5 Результаты классификации на основе алгоритма случайного леса с новым набором признаков [171; 172] 67

3.1 Результаты извлечения антропометрических признаков 81

Приложения

Приложение А
Акт о внедрении программного продукта

СПРАВКА О ВНЕДРЕНИИ

Настоящим подтверждаем, что результаты диссертационного исследования аспиранта ФГБОУ ВО ИРНИТУ Нгуен Тхе Лонг на тему: «Разработка моделей и комплексов программ в задачах антропометрии на основе алгоритмов компьютерного зрения» обладают актуальностью, представляют практический интерес и разработанное программное обеспечение используются нашей компанией.

Директор ателье по пошиву форменного обмундирования «ШИК» _____ Краснояров С.Н.

Иркутск, 10.02.2017



Ателье по пошиву форменного обмундирования «ШИК», ИП Краснояров С.Н.
ул. Карла Либкнехта 22, г. Иркутск, Российская федерация
Тел./факс: +7 (3952) 206-215

Приложение Б

Свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2016611475

Программа бесконтактной антропометрии для смартфонов на операционной системе Андроид

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (RU)*

Авторы: *Сидоров Денис Николаевич (RU), Нгуен Тхе Лонг (RU), Нгуен Тху Хыонг (RU)*

Заявка № **2015661864**

Дата поступления **04 декабря 2015 г.**

Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ *03 февраля 2016 г.*

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

Копия верна

Начальник правового отдела
А.И. Мишарина

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2016619386

Программа автоматического обнаружения и классификации дефектов дорожного покрытия

Правообладатель: ***федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (RU)***

Авторы: ***Сидоров Денис Николаевич (RU), Нгуен Тху Хыонг (RU), Нгуен Тхе Лонг (RU)***

Заявка № **2016616682**

Дата поступления **24 июня 2016 г.**

Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ ***18 августа 2016 г.***

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

КОПИЯ ВЕРНА

Приложение В

Дипломы



CERTIFICATE OF PARTICIPATION

This is to certify that

Nhe Long Nguyen

attended the 5th international conference on
Analysis of Images, Social networks, and Texts AIST'2016 http://aistconf.org
held in Yekaterinburg, Russia, April 7-9, 2016

AIST org. committee

exactpro
EXITUS ACTA PROBAT
London Stock Exchange Group

@mail.ru group

Центр ИТ



Национальный
исследовательский
Иркутский государственный
технический университет

Грамота

награждается

Нгуен Тхе Лонг

аспирант кафедры вычислительной техники

за ***участие***

в выставке научных достижений институтов и
факультетов ИрГТУ
в рамках Дня российской науки

Проректор по научной работе
г. Иркутск

В. В. Пешков
7 февраля , 2014 год

Сертификат

участника четвертой конференции по Анализу Изображений, Сетей и Текстов АИСТ'2015

Нгуен Тхе Лонг



Орг. комитет конференции

Барышева А.

Иркутский Национальный
Исследовательский Технический
Университет

СЕРТИФИКАТ

Выдан

Нгуен Тхе Лонг

в том, что он прошел краткосрочный курс обучения по программе «Инновационный менеджмент. Венчурное предпринимательство. Коммерциализация технологий» и выполнил все аттестационные работы.

Октябрь - Ноябрь 2016 г.

Проректор по инновационной деятельности А.В. Звездин



KOREA FOUNDATION
Seoul
Republic of Korea

IRKUTSK NATIONAL RESEARCH TECHNICAL UNIVERSITY
Irkutsk
Russian Federation

CERTIFICATE OF PROGRAM COMPLETION

THIS IS TO CERTIFY THAT

Nguyen The Long

HAS SUCCESSFULLY COMPLETED THE COURSE IN

KOREAN E-GOVERNMENT AND STRATEGIES

AND IS AWARDED 3 CREDITS

JUNE 25,
2015

Seunghwan Myeong, Ph.D.
Professor

Mikhail Kornyakov, DSc.
Vice-rector