

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

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Иркутск — 2017

Работа выполнена в ФГБОУ ВО

«Иркутский национальный исследовательский технический университет»

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

Официальные оппоненты: **Елисеев Сергей Викторович,**
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО
«Иркутский государственный университет путей
сообщения», главный научный сотрудник, директор
«Научно-образовательный центр современных тех-
нологий, системного анализа и моделирования»

Лемперт Анна Ананьевна,
кандидат физико-математических наук, доцент,
ФГБУН «Институт динамики систем и теории
управления имени В.М. Матросова» СО РАН, заве-
дующий лабораторией «Системный анализ и вычис-
лительные методы»

Ведущая организация: ФГБУН «Институт программных систем имени
А.К. Айламазяна» РАН

Защита состоится 22 июня 2017 г. в 13:00 часов на заседании диссер-
тационного совета Д 212.070.07 на базе ФГБОУ ВО «Байкальский государ-
ственный университет» по адресу: 664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 24,
корпус 9, зал заседаний ученого совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ
ВО «Байкальский государственный университет» по адресу: 664003, г. Ир-
кутск, ул. Ленина, 11, БГУ, корпус 2, аудитория 101, (<http://www.bgu.ru/>).

Отзывы на автореферат присылать по адресу: 664003, г. Иркутск, ул.
Ленина, 11, БГУ, ученому секретарю диссертационного совета Д 212.070.07.

Автореферат разослан « » 2017 года.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент



Ведерникова Т. И.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. *Автоматизация антропометрических измерений* – важная область приложения методов компьютерного зрения (Л. Шапиро, 2013) в математическом моделировании. Задача антропометрии состоит в обнаружении человеческого тела на изображении, распознавании его частей (головы, рук, ног и т.п.), описании антропометрических признаков (размеров частей тела) с целью создания соответствующей 3D-модели (В.Д. Фроловский, 2012). В здравоохранении (измерение размеров тела, фитнес-тестирование), проектировании и пошиве одежды, обеспечении безопасности и разработке систем мониторинга движения (X. Yan, 2014), локализации и распознавании деятельности человека на изображении (M. Jainy, 2015) требуется решение задач антропометрии с заданной точностью и скоростью (A. Konstantinos, 2016). Этим проблемам посвящен ряд современных исследований. Например, в работе (YuChen, 2011) предложена модель, позволяющая обнаруживать человека на статических изображениях. Barron и Kakadiaris (C. Barron, 2000) и Taylors (C.J. Taylor, 2000) создали алгоритмы восстановления 3D-моделей человеческого тела. В работах (A.S. Micilotta, 2005) 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 (Л.П. Ярославский, 1979; Ю.Е. Воскобойников, 1998; В.С. Сизиков, 2011; А.С. Kokaram, 2013; D. Sidorov, 2015 и др.).

Дополнительным стимулом к развитию методов компьютерного зрения в антропометрии служит высокая популярность мобильных устройств (смарт-фонов). 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. 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 шум, 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.

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.

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 кон-

ференция «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.

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.

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.

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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обосновывается актуальность исследований, на основании чего сформулированы цель и задачи работы; определены объект, предмет, методы и средства исследования; раскрыта научная новизна и практическая значимость полученных результатов; изложены основные научные положения, выносимые на защиту; приведены структура и краткий обзор содержания работы.

В **первой главе** анализируются алгоритмический подход и методы компьютерного зрения в извлечении антропометрических признаков (3635-99, ГОСТ Р ИСО; 13402, EN) со статических изображений и видеопоследовательностей. Излагаются алгоритмы построения опорных точек из видеопоследовательностей, рассматриваются принципы формирования антропометриче-

ских моделей на основе сопоставления опорных точек человеческого тела в построенных моделях.

На основе проведенного анализа сделан вывод об адекватности и точности использования комбинированных методов и соответствующих алгоритмов – итеративного алгоритма ближайших точек (ИАБТ) и разрезов на графах для извлечения антропометрических признаков, при использовании метода случайного леса (Random Forest) для классификации антропометрических данных в статических изображениях и видео в присутствии шума, в режиме близком к реальному времени. Такой подход позволил построить систему компьютерного зрения в антропометрии, обладающую высокой точностью и скоростью обработки.

Вторая глава посвящена построению математической модели и численных методов компьютерного зрения к задаче антропометрии. 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 антропометрических признаков.

1. Извлечение антропометрических признаков

Для решения задачи извлечения антропометрических признаков из изображений и видеопоследовательностей (см. рис.1) предложен алгоритм, основанный на комбинации методов предварительной обработки изображений, алгоритме вычитания фона, алгоритме сегментации изображений на основе разрезов на графах и итеративного алгоритма ближайших точек.

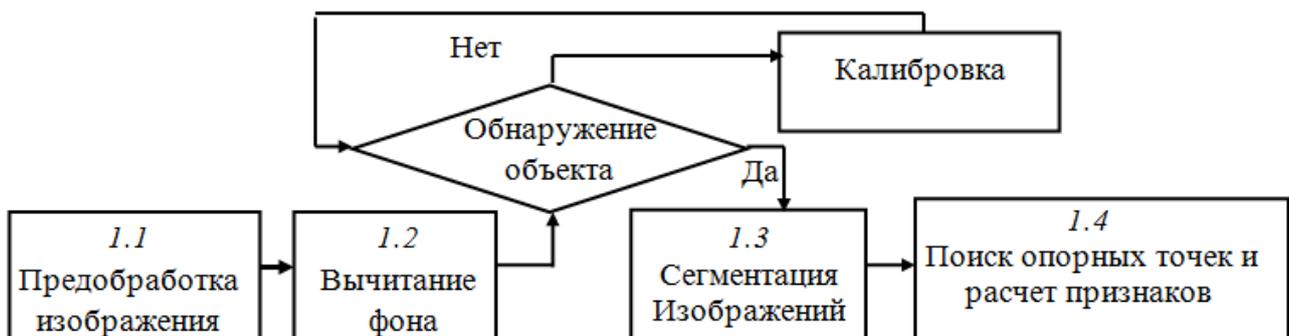


Рис. 1. Процесс извлечения антропометрических признаков

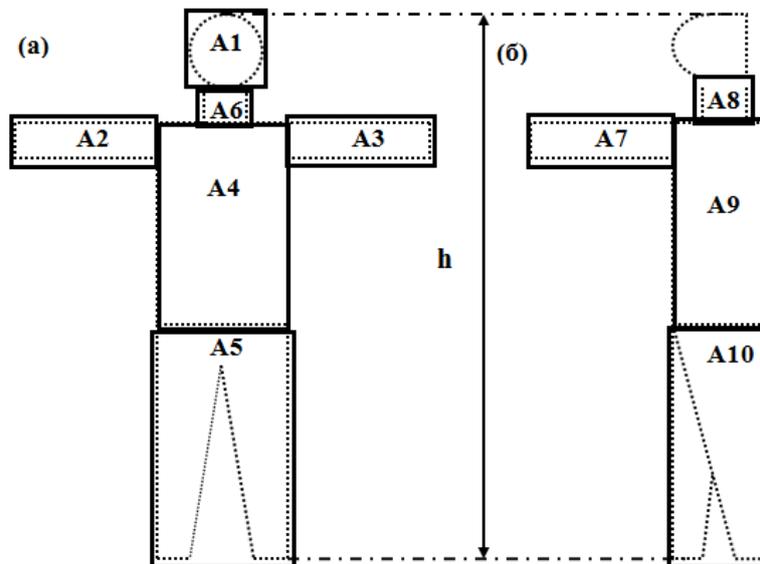


Рис. 2. Области интереса после сегментации

1.1 Предварительная обработка изображения (п.2.2.1 диссертации).

На этом этапе происходит преобразование входного изображения из формата RGB в полутоновое изображение, подавляется шум, выполняется сглаживание изображения, проводится эквализация гистограммы, применяются морфологические операторы для улучшения качества контура объекта.

1.2 Обнаружение объектов (п.2.2.2 диссертации). На этом шаге выполняется вычитание фона (С. Stauffer, 1999). Результатом является область изображения, которая содержит человеческое тело (область интереса - ROI). К извлеченной области далее будет применена сегментация. Отбор пикселей, принадлежащих фону и объекту проводится с использованием бинарного изображения (маски). Пиксель принадлежит объекту, если разность интенсивности точки фона и точки текущего кадра для данного пикселя превышает некоторое пороговое значение.

1.3 Сегментация изображений на основе метода разрезов на графах (Y. Boykov, 2004) (п.2.2.3 диссертации). Предположим, что множество S представляет собой ROI, которую получили после вычитания фона (Рис. 2а). Результатом сегментации являются наборы ROI: $\{A_i | i = 1, \dots, 6\}$, $S = \bigcup_{j=1}^6 A_j$ Проводится калибровка с учетом параметров камеры и параметра калибровки h (рис. 2). Применяется один из эффективных методов сегментации – метод минимального разреза - максимального потока. При этом всё изображение интерпретируется 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 две части. Пиксели, попавшие в один подграф с вершиной–исток, считаются областями частей человеческого тела A_j , остальные пиксели признаются областями где нет частей человеческого тела. Результаты сегментации используются далее на этапе обработки и анализа контура каждой части человеческого тела.

1.4 Построение опорных точек на основе итеративного алгоритма ближайших точек (ИАБТ) (Z. Zhang, 1992) (п.2.2.4 диссертации). Пусть $C = \{c_i | i = 1, \dots, n\}$ представляет собой набор точек контура частей человеческого тела. $B = \{b_i | i = 1, \dots, m\}$ является модельным набором координат для обнаружения искомым опорных точек. Цель алгоритма ИАБТ состоит в поиске набора точек доставляющих минимум расстояния между наборами C и B (алгоритм 1).

Исходные данные: два облака точек $C = \{c_i\}$, $B = \{b_i\}$;
начальное преобразование T_0 .

Результат: итоговое преобразование T для обнаружения опорных точек в C .

$T \leftarrow T_0$;

while не сходится **do**

for $i \leftarrow 1$ to n **do**

$m_i \leftarrow$ Найти ближайшие точки в C 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

$T \leftarrow \operatorname{argmin}_T \left\{ \sum_i w_i \|T * b_i - m_i\|^2 \right\}$;

$n = n + 1$;

end

Алгоритм 1: Итеративный алгоритм ближайших точек (ИАБТ)

Поиск итогового расположения опорных точек на найденных опорных контурах для каждой ROI (рис. 2) осуществляется согласно ГОСТ Р ИСО, 3635-99. Примеры результатов обнаружения опорных точек представлены на рис. 3.

Расчеты проводятся с использованием евклидова расстояния. С такими антропометрическими признаками, как длина руки, длина плеча и т.д. использовалось непосредственно евклидово расстояние между соответствующими опор-

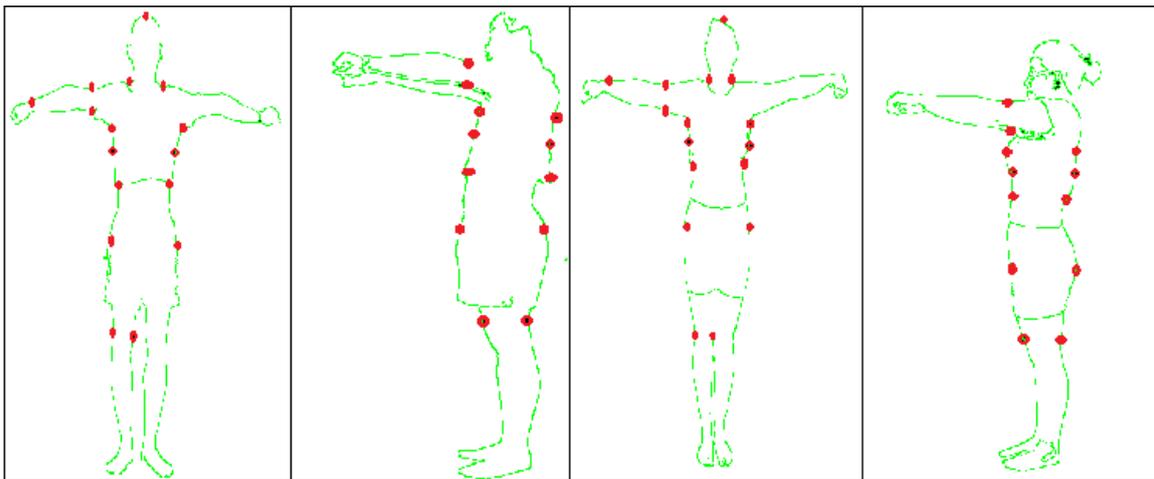


Рис. 3. Результаты обнаружения опорных точек

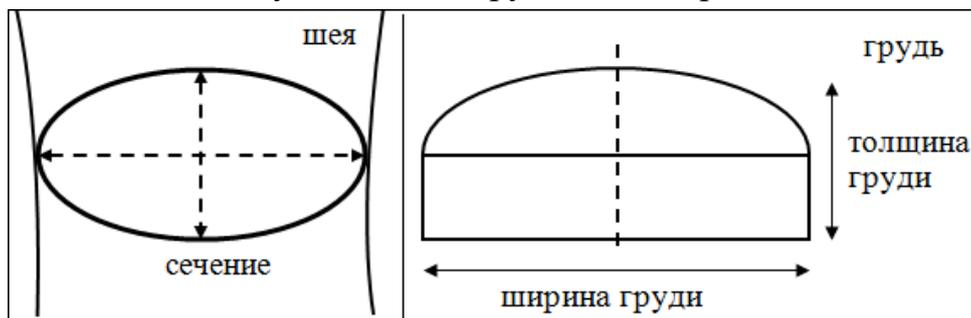


Рис. 4. Примеры расчетов для обхвата шеи и груди

ными точками. Для извлечения антропометрических признаков с более сложной структурой (талия, грудь, бедро) необходимо было использовать больше опорных точек и вычислять периметр вписанных замкнутых кривых (рис. 4).

1.5 Экспериментальное оценивание точности численного метода извлечения антропометрических признаков (п.2.3 диссертации). Проведен ряд экспериментов с целью оценки точности извлеченных признаков. Оценка точности проведена с использованием анализа относительной среднеквадратической ошибки:

$$\varepsilon_{rel} = \frac{\|\tilde{z} - z\|}{\|z\|}, \quad (1)$$

где z – результаты измерений, проведенных вручную; \tilde{z} – результаты измерений с помощью разработанного приложения, $\|z\| = \sqrt{\sum_j z_j^2}$. Использовалась база из 100 тестовых наборов изображений людей различного пола и телосложения. Кроме того, проведен подробный анализ ошибок измерений $\varepsilon_j = |\tilde{z}_j - z_j|, j = 1, 11$ (см. рис. 5а), при этом в первом случае использованы 24 опорных точек, а во втором - 28 точек. Вычисления показали: случайная составляющая погрешности измерений (рис. 5б) имеет распределение близкое к нормальному закону; апостериорный анализ погрешностей подтвердил

линейную сходимость предложенного численного метода при увеличении разрешения исходного изображения.

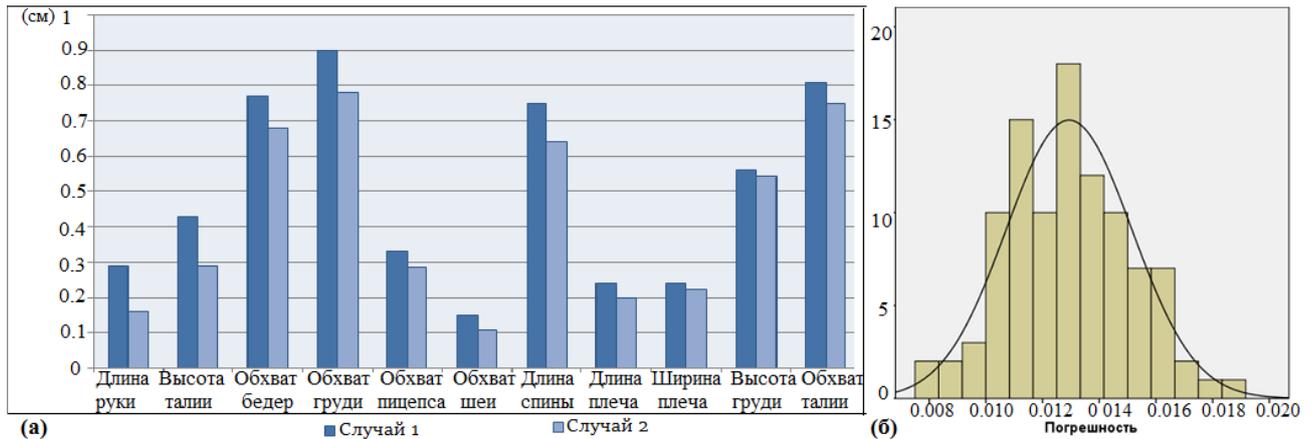


Рис. 5. а) Погрешности ε_j . б) Распределение погрешности измерений при 100 опытах

2. Математическое моделирование типов телосложения

Для построения антропометрических моделей экспериментальным путем выявлено пять 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 $D = \{d_i | i = 1, \dots, N\}$, набор антропометрических вектор-признаков $X = \{x_i | i = 1, \dots, 13\}$ (включая заданный вес тела) и набор меток классов $Y = \{y_i | i = 1, \dots, 5\}$. Модель обучения и тестирования использована для классификации объектов по меткам Y .

В качестве критерия информативности построения решающих деревьев используется индекс Джини. Предлагается алгоритм оценки и поиска набора признаков из исходного набора признаков. Алгоритм случайного леса состоит из двух основных этапов: обучение и тестирование. Процесс обучения осуществляется следующим образом:

- выбрать из D n случайных объектов с повторениями – D_i ;
- построить для D_i решающее дерево, используя алгоритм «дерево классификации и регрессии» (CART) для построения решающего дерева. При этом для каждой вершины признак выбирается из m случайно выбранных признаков;
- 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.

3. Задача построения антропометрических моделей

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.

Процесс построения антропометрических моделей включает следующие шаги:

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

Шаг 2: построение моделей частей тела при помощи полученных измерений;

Шаг 3: построение текстурированной модели человеческого тела;

Шаг 4: экспорт созданной 3D-модели в файл *.mtl, который описывает текстуры модели, и в файл *.obj, содержащем информацию каждой модели. На рис. 6 представлены примеры построения антропометрических моделей.

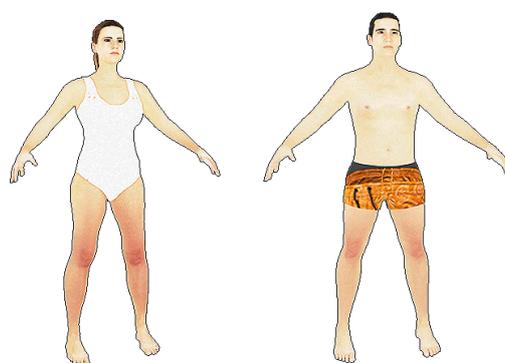


Рис. 6. Примеры построенных моделей

В **третьей главе** описывается проектирование системы компьютерного зрения в антропометрии для практических применений: моделирование одежды и фитнес-приложение. Система проектируется с помощью аналитических методов объектно-ориентированного UML (рис. 7). Программа описывается диаграммами: диаграмма прецедентов, диаграмма классов, диаграмма последовательности. Классы подробно анализируются с указанием задач каждого компонента в программе. Доказывается целесообразность предложенного в работе способа проектирования приложений компьютерного зрения в антропометрии.

Проведен анализ практических результатов экспериментов извлечения антропометрических признаков. Выполнено сравнение результатов предложенных алгоритмов с другими алгоритмами по точности. Установлено пре-

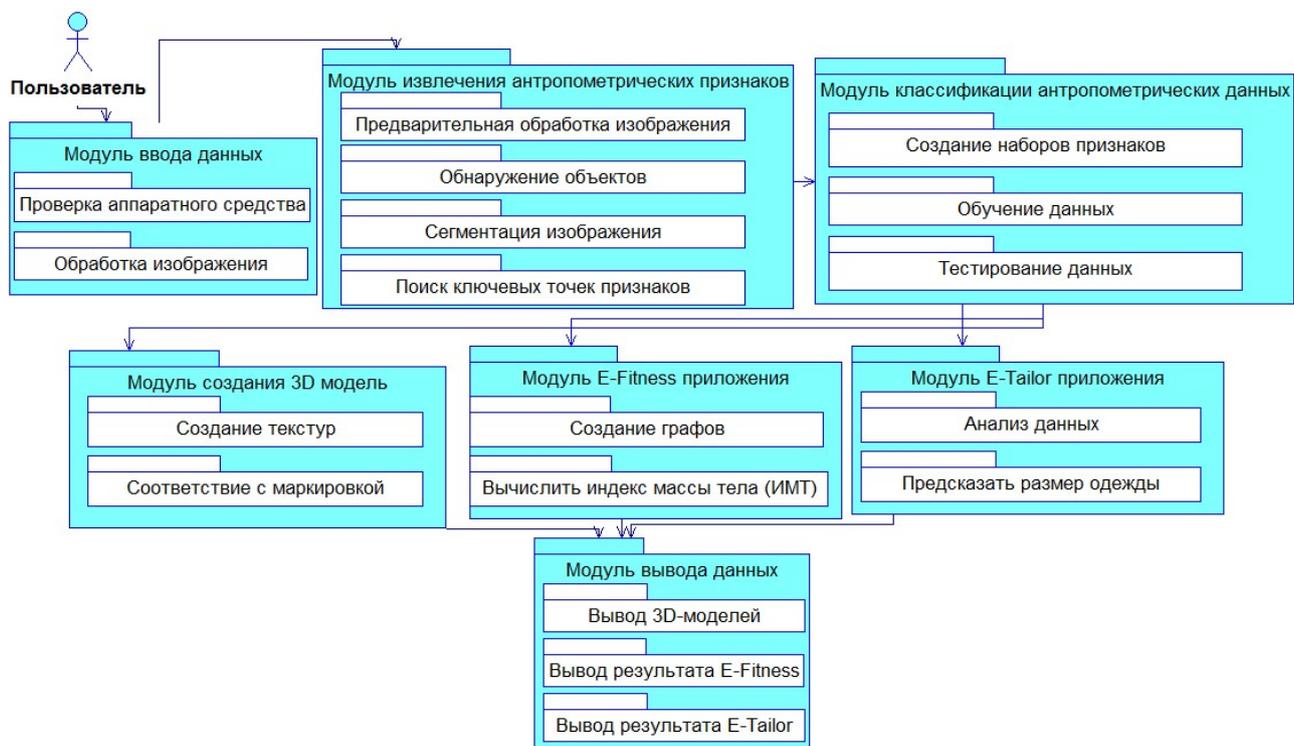


Рис. 7. Структура ПО

имущество синтеза алгоритма на основе метода разреза на графах и итеративного алгоритма ближайших точек.

В четвертой главе дано краткое описание среды разработки приложений под ОС Android, библиотек поддержки алгоритмов компьютерного зрения OpenCV, поддержки построения антропометрических моделей человеческого тела MakeHuman, библиотеки поддержки 3D для Android Min3D и библиотеки алгоритмов машинного обучения на основе случайного леса Weka. Изложены инструкции для пользователей разработанных приложений. Приведена архитектура реализованного автором мобильного приложения для моделирования одежды (E-Tailor). Главные функции приложения включают: автоматизацию извлечения антропометрических признаков и получение размеров одежды. Изложены этапы разработки приложения для фитнеса (E-Fitness). Главные функции разработанного приложения включают: автоматизацию извлечения антропометрических признаков, построение 3D-моделей человеческого тела, анализ и сравнение признаков телосложений, а также расчет индекса массы тела (ИМТ). Приложения разработаны на языке Java под ОС Android для смартфонов. Программные модули имеют простой, удобный и интуитивно понятный интерфейс.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

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 ОСНОВНЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

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 // Междисциплинарные 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.

Подписано в печать 19.04.2017. Формат 60 x 90 / 16.

Бумага офсетная. Печать цифровая. Усл. печ. л. 1,25.

Тираж 100 экз. Заказ 108. Поз. плана 10н.

Отпечатано в типографии Издательства
ФГБОУ ВО «Иркутский национальный
исследовательский технический университет»
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.