

KwDataИсходные данные KwResultРезультат Алгоритмалгоритмсписок  
алгоритм

На правах рукописи

Нгуен Тхе Лонг

# **РАЗРАБОТКА И ПРИЛОЖЕНИЕ АЛГОРИТМОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ К ЗАДАЧЕ АНТРОПОМЕТРИИ**

Специальность 05.13.18 —  
«Математическое моделирование, численные методы и  
комплексы программ»

## **Автореферат**

диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Иркутск — 2017

Работа выполнена в Иркутском Национальном Исследовательском Техническом Университете

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

**Официальные оппоненты:** **Фамилия Имя Отчество,**  
доктор физико-математических наук, профессор,  
Не очень длинное название для места работы,  
старший научный сотрудник

**Фамилия Имя Отчество,**  
кандидат физико-математических наук,  
Основное место работы с длинным длинным длин-  
ным длинным названием,  
старший научный сотрудник

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное образо-  
вательное учреждение высшего профессионального  
образования с длинным длинным длинным длинным  
названием

Защита состоится DD mmmmmmmm YYYY г. в XX часов на заседании диссер-  
тационного совета NN на базе Название учреждения по адресу: Адрес.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Название библиотеки.

Автореферат разослан DD mmmmmmmm YYYY года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
NN, д-р физ.-мат. наук

Фамилия Имя Отчество

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** *Автоматизация антропометрических измерений* – важная область приложения методов компьютерного зрения в математическом моделировании<sup>1</sup>. 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<sup>2</sup>. В здравоохранении (измерение размеров тела, фитнес-тестирование), проектировании и пошиве одежды, обеспечении безопасности и разработке систем мониторинга движения (Х. Yan 2014), локализации и распознавании деятельности человека на изображении (М. Jainy 2015) требуется решение задач антропометрии с заданной точностью и скоростью (А. Konstantinos 2016). Этим проблемам посвящен ряд современных исследований. Например, в работе (YuChen 2011) предложена модель, позволяющая обнаруживать человека на статических изображениях. Barron и Kakadiaris (С. Barron 2000) и Taylors (С. J. Taylor 2000) создали алгоритмы восстановления 3D-модели человеческого тела. В работах (А. 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<sup>3,4,5,6,7</sup>.

Дополнительным стимулом к приложению методов компьютерного зрения в антропометрии служит развитие мобильных вычислительных устройств (смартфонов). Большой объем цифрового контента стимулирует развитие интеллектуального анализа данных, анализа и обработки изображений и видео

---

<sup>1</sup> Шапиро, Л. Компьютерное зрение = Computer Vision : [учеб. пособие] / Дж. Стокман, ред.: С. М. Соколов, пер.: А. А. Богуславский, Л. Шапиро. — 2-е изд. (эл.) — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний., 2013. — 762 с.

<sup>2</sup> Грудинин, С.Н. Предметная параметризация виртуальных манекенов [Текст] / С.Н. Грудинин, В.Д. Фроловский // Автоматика и программная инженерия. - 2014. — № 1 (7). — С. 53–56.

<sup>3</sup> Ярославский, Л.П. Введение в цифровую обработку изображений [Текст] / Л.П. Ярославский //— М.: Сов. радио, 1979. — 312 с.

<sup>4</sup> Белявцев, В.Г., Воскобойников, Ю.Е. Алгоритмы фильтрации изображений с адаптацией размеров апертуры [Текст] / В.Г. Белявцев, Ю.Е. Воскобойников // Автометрия. — 1998. — № 3. — С. 18 – 25.

<sup>5</sup> Сизиков, В.С. Обратные прикладные задачи и MatLab [Текст] / В.С. Сизиков. - Санкт-Петербург : СПб: Лань, 2011. - С.256 с.

<sup>6</sup> Kokaram, A.C. Motion Picture Restoration: Digital Algorithms for Artefact Suppression in Degraded Motion Picture Film and Video [Text] / A.C. Kokaram //Springer Science & Business Media, 2013. -334 p.

<sup>7</sup> Sidorov, D. Integral Dynamical Models: Singularities, Signals & Control [Text] / D. Sidorov. - Singapore: World Scientific, 2015.

при ограниченных, 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 в силу отсутствия унифицированной системы размеров, так и в силу необходимости классификации типов телосложения. Результаты данной работы дают алгоритмическое и программное решение некоторых 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 приложения обеспечивает уровень точности получения измерений параметров человеческого тела, позволяющих, в частности, строить 3D-модели тела. Разработанные в диссертации программные средства решают проблемы, связанные с наличием шумов в видеопоследовательностях, режимом функционирования, близком к реальному времени, а также в определенной степени снимают ограничения вычислительных ресурсов мобильных устройств.

**Целью исследования** является совершенствование математических моделей, численных методов, алгоритмов компьютерного зрения, направленное на реализацию 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 режиме реального времени при наличии шума;
- 2) Объединение алгоритмов и методов компьютерного зрения для достижения высокой эффективности и повышения точности извлечения антропометрических признаков;
- 3) Применение методов машинного обучения для классификации данных антропометрических признаков;

- 4) Разработка способа построения 3D-моделей телосложения людей на основе полученной антропометрии. Способ требует правильное описание 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 антропометрической системы в среде Андроид.

Результаты проведенных экспериментов подтвердили эффективность алгоритмов компьютерного зрения в антропометрии. Сравнение с результатами близких исследований подтвердило эффективность предложенных математических моделей и комплекса программ.

**Внедрение работы.** Результаты исследования применены на практике при моделировании форменного обмундирования, получен акт о внедрении.

**Предмет исследования** - математическая модель, задачи, методики, алгоритмы и программы применительно к задаче антропометрии. Предмет исследования определен предметной областью №7 паспорта специальности 05.13.18 «Разработка новых математических методов и алгоритмов интерпретации натурного эксперимента на основе его математической модели», а так же перечнем задач решаемых в диссертации.

**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 3D 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 измерений;

- 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.

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

**Личный вклад автора.** Основные результаты выносимые на защиту получены автором лично. 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 172 наименований. Общий объем диссертации составляет 130 страниц машинописного текста, иллюстрированного 58 рисунками и 5 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<sup>8,9</sup> со статических изображений и видеопоследовательностей. Излагаются алгоритмы построения опорных точек из видеопоследовательностей, рассматриваются принципы формирования 3D моделей на основе сопоставления опорных точек человеческого тела в построенных моделях.

На основе проведенного анализа сделан вывод об адекватности и точности использования комбинированных методов итеративного алгоритма ближайших точек (ИАБТ), разрезов на графах 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 с 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 признаков на видеопоследовательностях в режиме реального времени.

**1. Извлечение антропометрических признаков.** Для решения задачи извлечения антропометрических признаков из изображений и видеопоследовательностей (см. рис. img53) предложен алгоритм, основанный на комбинации эффективных методов - технике предварительной обработки изображений, алгоритме вычитания фона, алгоритме сегментации изображений на основе разреза на графах и итеративного алгоритма ближайших точек.

---

<sup>8</sup>3635-99, ГОСТ Р ИСО. Одежда. Размеры. Определения, обозначения и требования к измерению [Электронный ресурс] // [http://www.internet-law.ru/gosts/gost/8932]. – [Б. м. : б. и.]. – Дата доступа: 2017.

<sup>9</sup>13402, EN. Европейский стандарт указания размеров одежды [Электронный ресурс] // [https://ru.wikipedia.org/wiki/EN-13402] – [Б. м. : б. и.]. – Дата доступа: 2017.

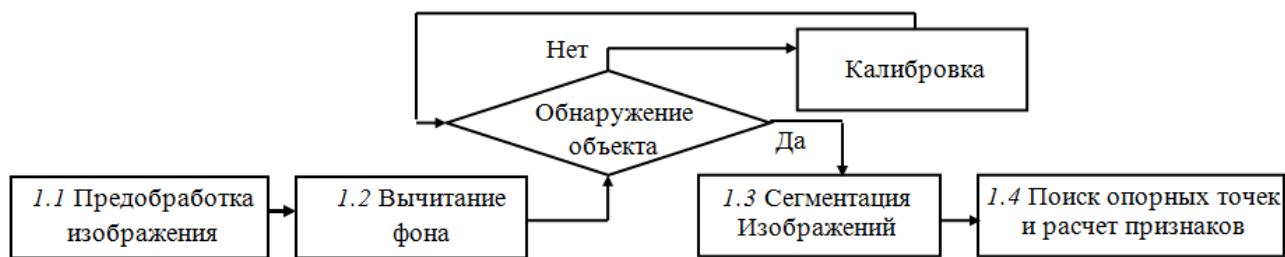


Рис. 1 — Блок-схема процесса извлечения антропометрических признаков.

*1.1 Предварительная обработка изображения (п.2.2.1).* На этом этапе происходит преобразование входного изображения из формата RGB в полутоновое изображение. Предварительная обработка изображений: необходимо подавить шум, выполнить сглаживание изображения, провести эквализацию гистограммы, применить морфологические операторы для улучшения качества контура объекта.

*1.2 Обнаружение объектов (п.2.2.2).* На этом шаге первым делом 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). Считается, что пиксель принадлежит объекту и имеет белый цвет в маске, если разность интенсивности фона и текущего кадра для данного пикселя превышает некоторое пороговое значение.

*1.3 Сегментация изображений на основе метода разрез на графах (Y. Boykov 2004) (п.2.2.3).*

Предположим, что множество  $S = \{s_i | i = 1, \dots, n\}$  представляет собой область интереса, которую получили после вычитания фона. Сегментация определяется набором случайной величины  $A = \{A_i | i = 1, \dots, n\}$ ,  $A_i \in L$  которого указывает маркировка  $s_i$  и  $L = \{L_j | j = 1, \dots, m\}$  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. img1). Одним из эффективных методов сегментации является метод минимального разреза - максимального потока. В этом случае алгоритм трактует всё изображение как граф  $G(V, E)$ . Элементы множества  $V$  называются вершинами-пикселями графа, а пары из  $E$  — его рёбра-



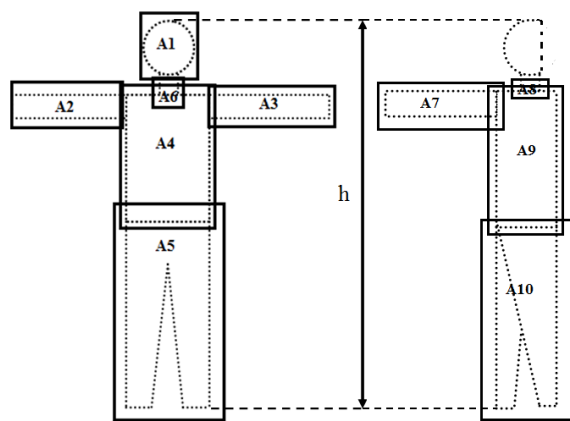


Рис. 2 — Моделирование телосложения для сегментации изображения.  $h$  (рост) - параметр калибровки.

ми. В полученном графе находится минимальный разрез, который делит граф на 2 части. Пиксели, попавшие в один подграф с истоком, считаются областями частей человеческого тела, 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).* Пусть  $A = \{a_i | i = 1, \dots, n\}$  представляет собой набор точек контура частей человеческого тела.  $B = \{b_i | i = 1, \dots, m\}$  является модельным набором координат для обнаружения искоемых опорных точек. Цель алгоритма ИАБТ состоит в поиске набора точек доставляющих минимум расстояния между наборами  $A$  и  $B$ :

[ht!] 2 облака точек  $A = \{a_i\}$ ,  $B = \{b_i\}$ ; начальное преобразование  $T_0$  итоговое преобразование  $T$  для обнаружения опорных точек в  $A$ ,  $T \leftarrow T_0$  не сходится  $i \leftarrow 1$  to  $n$   $m_i \leftarrow$  Найти ближайшие точки в  $A$  к  $T * b_i$ ;

$$\|m_i - T * b_i\| \leq d_{max} \quad w_i \leftarrow 1; \quad w_i \leftarrow 0; \quad T \leftarrow \operatorname{argmin}_T \left\{ \sum_i w_i \|T * b_i - m_i\|^2 \right\};$$

$n = n + 1$ ;

Поиск итогового расположения опорных точек на найденных опорных контурах для каждой ROI (рис. img1) осуществляется согласно ГОСТ<sup>4</sup>. Результаты обнаружения опорных точек представлены на рис. img7. Расчеты проводятся с использованием евклидова расстояния. С такими антропометрическими признаками, как длина руки, длина плеча и т.д. (несложная геометрия)

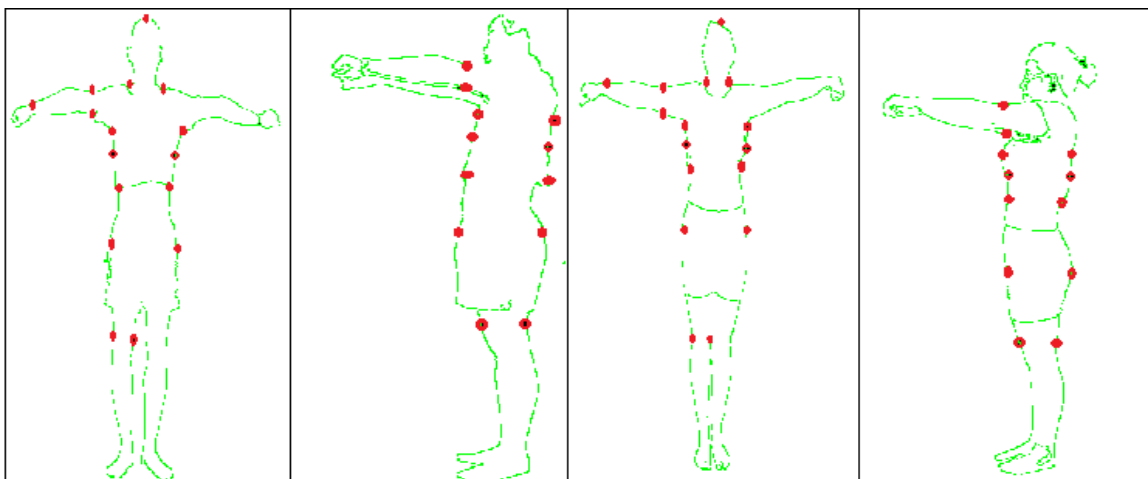


Рис. 3 — Результаты обнаружения опорных точек.

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. img2).

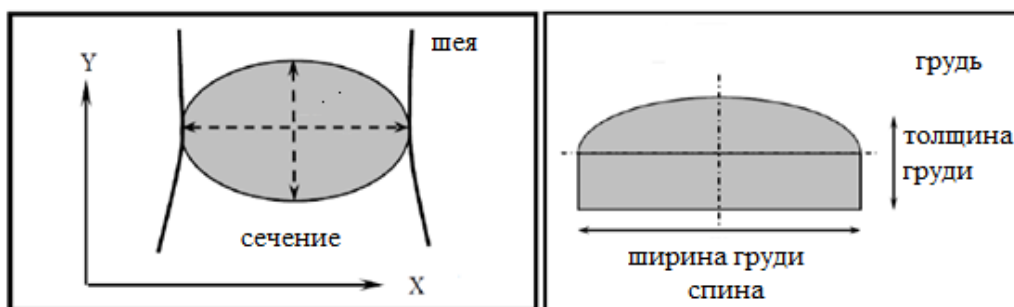


Рис. 4 — Примеры расчетов для обхвата шеи и груди.

*1.5 Экспериментальное оценивание точности численного метода извлечения антропометрических признаков (п.2.3).* Оценка точности извлеченных признаков проведена использует анализ относительной среднеквадратической ошибки:

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

где  $z_j$  — результат измерений, рассчитанных вручную;  $\tilde{z}_j$  — результат измерений с помощью разработанного приложения. Использовалась база из 100 тестовых

наборов изображений людей различного пола и телосложения. Кроме того, проведен подробный анализ ошибок измерений  $\varepsilon = |\tilde{z}_j - z_j|$  (см. рис. img16a), при этом в первом случае использованы 24 опорных точек, а во втором - 28 точек. Экспериментально установлено, что распределение случайной составляющей погрешности измерений (рис. img16б) подчинено нормальному закону. В этом разделе также экспериментально установлена линейная сходимость предложенного численного метода на основе анализа апостериорной оценки погрешности при увеличении разрешения исходных изображений.

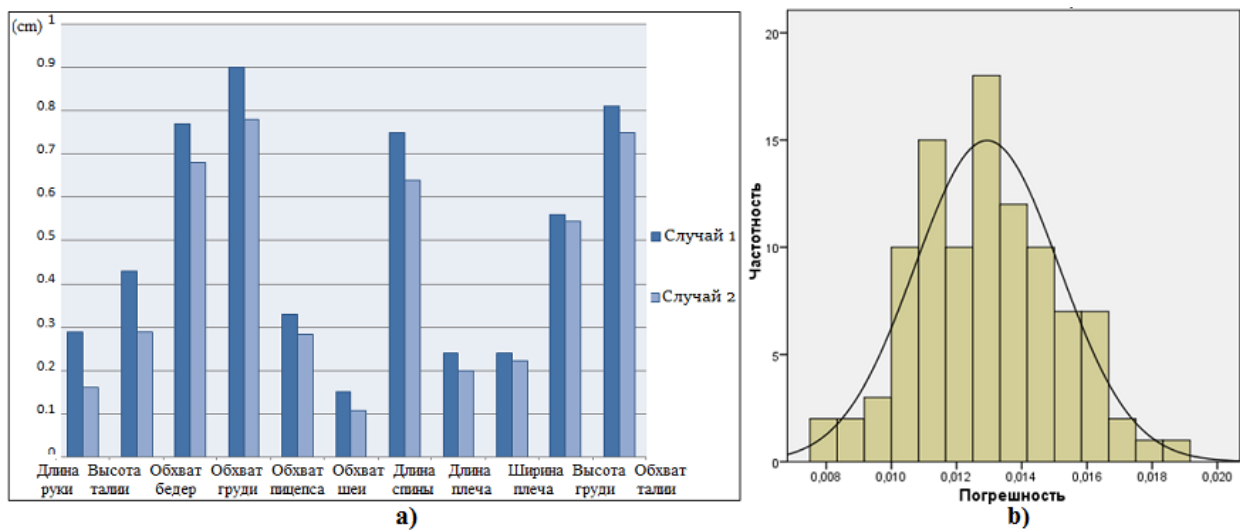


Рис. 5 — а) Погрешность  $\varepsilon$ . б) закон распределения погрешности измерений (сл. 2) по формуле (eq26).

**2. Математическое моделирование типов телосложения.** Для построения 3D 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  $D = \{d_i | i = 1, \dots, N\}$ ,  $X = \{x_i | i = 1, \dots, 12\}$  - набор антропометрических вектор-признаков и  $Y = \{y_i | i = 1, \dots, 5\}$  - набор меток классов. Векторы антропометрических признаков  $\{X_i\}_{i=1}^N$ , в том числе каждый вектор имеет структуру  $x_k = (x_{k1}, \dots, x_{kd})$ . Модель обучения и тестирования использована для классификации объектов по меткам  $Y$ . Для оценки критерия качества построения решающих деревьев

используется индекс Джини:

$$Gini = N_L \sum_{i=1}^k p_{kL} (1 - p_{kL}) + N_R \sum_{i=1}^k p_{kR} (1 - p_{kR}), \quad (2)$$

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. 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 модели обучения.

**3. Задача построения антропометрических моделей.** В этом разделе представлен подход к реконструкции 3D- модели 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:** разработка моделей частей человеческого тела (голова, туловище, руки, ноги) с использованием ранее полученных антропометрических признаков;

**Шаг 3:** построение текстурированной модели человеческого тела;

**Шаг 4:** экспорт модели человеческого тела в два файла: первый файл (\*.mtl) описывает текстуры модели, второй файл (\*.obj) содержит информа-

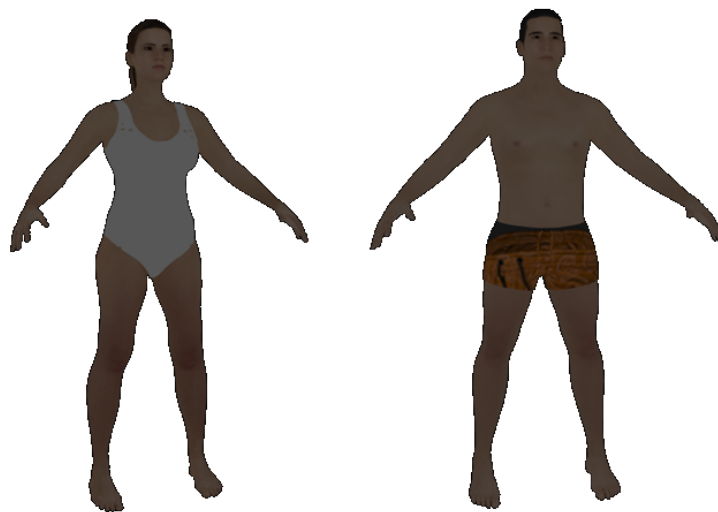


Рис. 6 — Примеры построенных моделей.

цию каждой модели. На рис. [img17](#) представлены примеры построения антропометрических 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. [img35](#)). Программа описывается диаграммами: диаграмма прецедентов, диаграмма классов, диаграмма последовательности. Классы подробно анализируются с указанием задач каждого компонента в программе. Доказывается целесообразность 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 преимущество синтеза алгоритма на основе метода разреза на графах и итеративного алгоритма ближайших точек. И наконец, выполнено сравнение результатов классификации между алгоритмом случайного леса и алгоритмом Boosting, работающими с видео.

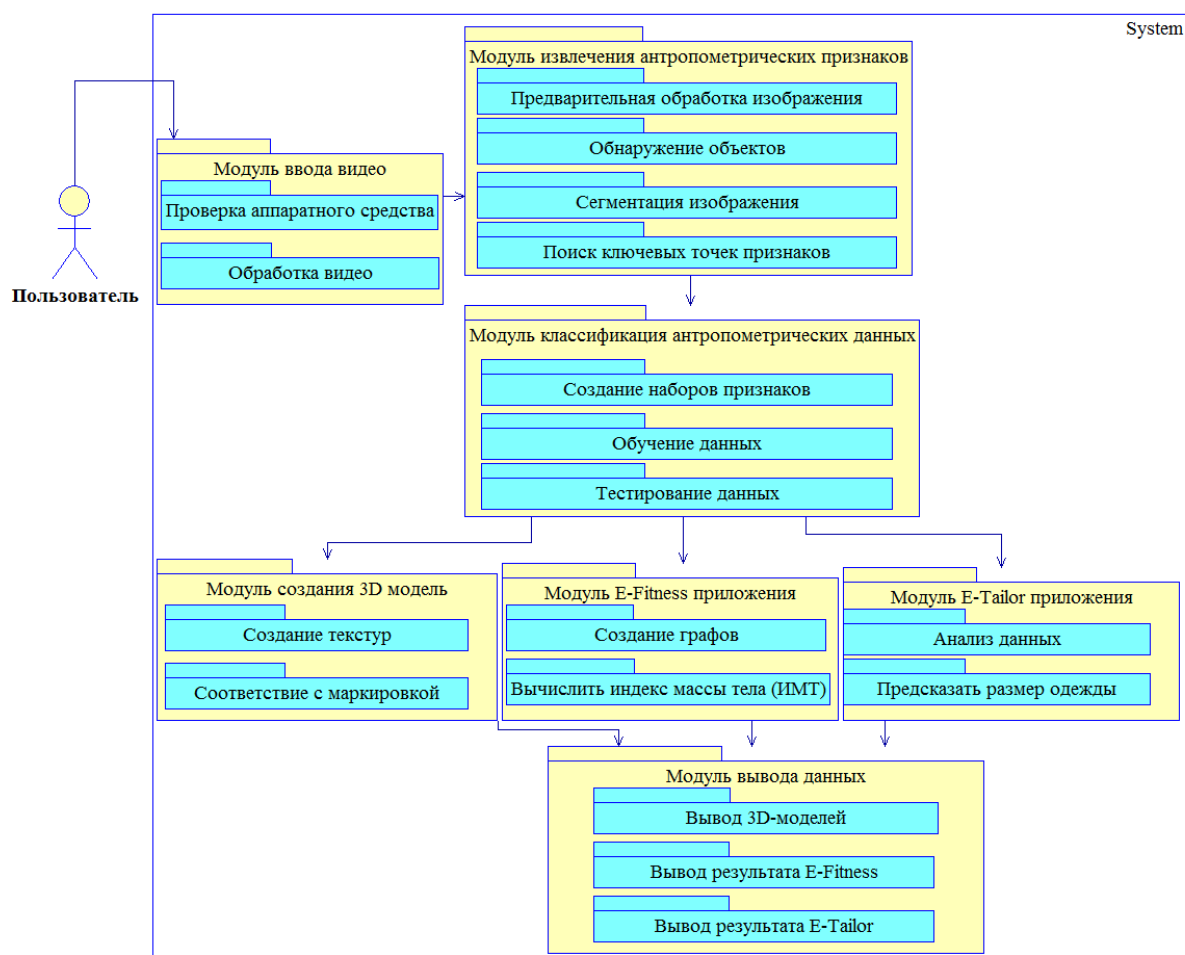


Рис. 7 — Структура ПО.

В четвертой главе дано описание среды разработки приложения Android, библиотек поддержки алгоритмов компьютерного зрения OpenCV<sup>10</sup>, поддержки построения 3D-моделей человеческого тела MakeHuman<sup>11</sup> и библиотеки поддержки 3D для Android – Min3D<sup>12</sup>. Изложены инструкции для пользователей разработанных приложений. Приведена архитектура мобильного приложения для моделирования одежды (E-Tailor). Главные функции приложения включают: автоматизацию извлечения антропометрических признаков и классификацию размеров одежды. Изложены этапы разработки приложения для фитнеса (E-Fitness). Главные функции разработанного приложения включают: автоматизацию извлечения антропометрических признаков, построение

<sup>10</sup>OpenCV - Open source computer vision [Electronic resource] // [http://opencv.org/] – [S. l. : s. n.]. – Дата доступа: 2017.

<sup>11</sup>MakeHuman library [Electronic resource] // [http://www.makehuman.org]. – USA: [s. n.]. – Дата доступа: 2017.

<sup>12</sup>Softpedia. Min3D library [Electronic resource] // [https://code.google.com/p/min3d]. – USA: [s. n.]. – Дата доступа: 2017.

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 алгоритмы компьютерного зрения для извлечения антропометрических признаков, основанные на комбинации алгоритма сегментации изображений на основе метода разрезов на графах и итеративного алгоритма ближайших точек;
- 2) Предложена модель и разработан и апробированы алгоритм классификации антропометрических данных методом случайного леса (Random Forest) для приложения, которое классифицирует объекты на основе антропометрических признаков;
- 3) Разработаны алгоритмы и методы компьютерного зрения к задаче антропометрии на изображениях и видео с наличием шума и в режиме реального времени;
- 4) Построены антропометрические модели человеческого тела на основе результата извлечения антропометрических признаков;
- 5) Разработанные алгоритмы и методы реализованы в виде двух приложений для смартфонов на ОС Android: приложение «E-Tailor» для моделирования одежды и приложение «E-Fitness» для фитнес-тестирования.

## **СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Издания, входящие в Перечень ВАК РФ:**

1. Нгуен Т.Л. Об автоматизации извлечения и классификации антропометрических признаков / Нгуен Т.Л., Нгуен Т.Х. // Вестник ИРНИТУ: № 4. 2015. -С. 17-23.
2. Nguyen T.L. Studies of Anthropometrical Features using Machine Learning Approach / Nguyen T.L., Nguyen T.H., 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 / Нгуен Т.Л., Нгуен Т.Х. // Вестник ИРНИТУ: № 10. 2016. -С. 111-118.
4. Nguyen T.L. Automatic Anthropometric System Development Using Machine Learning / Nguyen T. L., Nguyen T.H. // BRAIN. Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience. 2016, -V. 7, -P. 5-15.

**Издания, включенные в РИНЦ:**

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

**Свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ:**

6. Сидоров Д.Н. Программа бесконтактной антропометрии для смартфонов на операционной системе Андроид // Сидоров Д.Н., Нгуен Т.Л., Нгуен Т.Х. // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ. № 2016611475, от 03 февраля 2016 г. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности. 2016.
7. Сидоров Д.Н. Программа автоматического обнаружения и классификации дефектов дорожного покрытия // Сидоров Д.Н., Нгуен Т.Х., Нгуен Т.Л. // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ. № 2016619386, от 18 августа 2016 г. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности. 2016.

**Прочие издания:**

8. Нгуен Т.Л. Автоматизация антропометрических измерений и извлечение признаков из 2D-изображений / Нгуен Т.Л., Нгуен Т.Х. // 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 / Нгуен Т.Л., Нгуен Т.Х. // 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 / Нгуен Т.Л.// 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 / Нгуен Т.Л., Нгуен Т.Х. // 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 / Нгуен Т.Л., Нгуен Т.Х. // Междисциплинарные исследования в области математического моделирования и информатики . Ульяновск: Изд-во SIMJET, января 2015г.-С.204-210.
13. Nguyen T.L. On Road Defects Detection and Classification / Nguyen T.L., Nguyen T.H., 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.