

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 образова-
тельное учреждение высшего профессионального
образования с длинным длинным длинным длин-
ным названием

Защита состоится DD mmmmmmmm YYYY г. в XX часов на заседании дис-
сертационного 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. Устройства записи, обработки и воспроизведения цифровых изображений и видео высокого качества становятся все более популярны у широкого круга пользователей. Одним из них является смартфон, с которым связаны разные стороны деятельности человека, что приводит к так называемому взрыву данных: изображений и видео. Это инициировало и стимулирует развитие интеллектуального анализа данных, разработку приложений для анализа и обработки изображений и видео. Возникают новые задачи, которые требуют развития областей компьютерного зрения для проектирования и разработки все более сложных и более высокопроизводительных приложений. Такие задачи требуют разработки лучших методов, чтобы стать ближе к реальным потребностям людей.

Компьютерное зрение (КЗ) включает в себя методы регистрации, обработки, анализа и классификации изображений. КЗ описывается как процесс автоматизации, интеграции и распознавания визуальной информации (В.С. Сизиков - 2001, 2012), (Р. Гонсалес - 2006). КЗ плотно связано с теорией искусственного интеллекта с извлечением информации из изображений. Данные изображений могут быть получены из многих источников, таких как: видео-изображения с нескольких камер, многомерные данные с медицинских томографов и др. Применение моделей и теории для построения систем компьютерного зрения является важной областью развития компьютерных наук.

Автоматизация антропометрических измерений – важная область приложения компьютерного зрения. Здесь можно применять компьютерное зрение для получения и анализа данных о форме, размерах человеческого тела. Поэтому исследования в области антропометрических признаков хорошо развиваются. Размеры человеческого тела являются важными объектами исследования во многих научных исследованиях. Чтобы понять содержание изображения, нужно извлечь и классифицировать признаки объекта. Эти задачи представляет большой интерес для исследователей.

Для автоматизации антропометрии необходимо определить ключевые точки. Это один из основных этапов процесса анализа. Задачей настоящего исследования является совершенствование и разработка алгоритмов для обработки изображений и видео для обеспечения точности при условии наличия шума и работающей в режиме реального времени. В силу ограниченности ре-

сурсов смартфонов является важным, чтобы система компьютерного зрения стабильно работала с высокой эффективностью.

Добиться этого можно используя методы компьютерного зрения. Для создания эффективных приложений необходимо использовать и расширенные возможности интеллектуальной системы компьютерного зрения.

Отметим, что антропометрические признаки можно применять в области здравоохранения, пошива одежды и фитнеса. Кроме того, в области развлечений, безопасности и мобильных приложений также есть интерес к получению антропометрической информации.

Целью исследования является применение численных методов компьютерного зрения и математического моделирования в антропометрии, реализация комплекса программ в виде приложения для смартфонов и апробация на практике. Для достижения указанной цели были поставлены следующие **основные задачи**:

- Разработка алгоритмов и методов компьютерного зрения для извлечения антропометрических признаков из изображений и видео в режиме реального времени при наличии шума;
- Объединение алгоритмов и методов компьютерного зрения для достижения высокой эффективности и повышения точности извлечения антропометрических признаков;
- Применение методов машинного обучения для классификации данных антропометрических признаков;
- Разработка метода построения 3D модели человеческого тела. Этот метод требует правильное описание структуры и формы человека;
- Разработка антропометрических приложений для смартфонов с операционной системой Андроид для использования в текстильной промышленности и в фитнесе;
- Оценка качества и эффективности работы системы компьютерного зрения в антропометрии на видео в среде Андроид.

Результаты проведенных экспериментов подтвердили эффективность алгоритмов компьютерного зрения в антропометрии и сравнение с другими соответствующими исследованиями подтвердило точность и устойчивость предложенного подхода и комплекса программ.

Внедрение работы. Результаты исследования были применены на практике в области текстильной промышленности в компании «ШиК, ателье по пошиву военной формы» города Иркутска. Программа была представлена экспертам в этой области и были получены сертификаты, подтверждающие точность измерений и работоспособность приложения на практике.

Предмет исследования. 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 3D-моделей. Методы прикладных исследований: Проектирование алгоритмов для задачи извлечения признаков и классификации антропометрических признаков. Разработка 3D моделей для моделирования формы человеческого тела; Построение приложения на операционной системе Андроид; Тестирование программы и хранение результатов, оценка и сравнение результатов с другими методами и алгоритмами.

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

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

Научная новизна результатов диссертационной работы заключается в следующем:

- 1) Предложены методы, алгоритмы компьютерного зрения для извлечения антропометрических признаков, основанные на сочетании двух алгоритмов сегментации изображения: разреза графов и алгоритма

итеративных ближайших точек (Iterative Closest Point — ICP). Здесь цель состояла в том, чтобы получить полный набор ключевых точек, описывающих размеры человеческого тела;

- 2) Приложение методов машинного обучения на основе случайного леса для классификации антропометрических измерений метода;
- 3) Разработка методов построения антропометрических моделей человеческого тела на основе антропометрических признаков полученных при помощи авторских методов компьютерного зрения;
- 4) Разработка бесконтактной системы антропометрии для смартфона на операционной системе Андроид.

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

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).

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. Конфликта интересов с соавторами нет.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 11 научных работ, 3 из которых – в рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 2 свидетельства регистрации программы на ЭВМ, одна статья опубликована в журнале, включенном в перечень Web of Science.

Структура и объем работы. Диссертация содержит введение, четыре главы, заключение и список использованной литературы, содержащий 151 наименование. Общий объем диссертации составляет 123 страниц машинописного текста, иллюстрированного 54 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, методы компьютерного зрения в извлечении антропометрических признаков со статических изображений и видеопоследовательностей: Построение признаков ключевых точек из 2D-изображений, видеок кадров; Использование 3D-сканирования моделей и сопоставление точек человеческого тела в построенных моделях.

В данной главе анализируется алгоритмический подход, методы компьютерного зрения в классификации антропометрических данных признаков в изображениях и видеопоследовательностях. Включая: Алгоритм Adaboost; Нейронные сети; Опорных векторов (SVM).

Также здесь рассматриваются возможности использования алгоритмов ICP и разреза на графах (Graph-cuts) для извлечения антропометрических признаков и алгоритм случайного леса для классификации антропометрических данных в изображениях и видеопоследовательностях.

На основе проведенного анализа принято решение о адекватности и точности использования комбинированных алгоритмов ICP, разреза 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 реального времени. Такой подход позволяет построить систему ком-

пьютерного зрения в антропометрии с высокой точностью и скоростью обработки.

Во **второй главе** излагаются принципы решения проблем приложения компьютерного зрения в задаче антропометрии используя статические изображения или видеопоследовательностях в режиме реального времени. Приводится подробное описание алгоритмов и методов, используемых для обнаружения и классификации объектов, извлечения признаков на изображениях и видеопоследовательностях.

Целью работы была разработка автоматизированной измерительной системы, основанной на изображениях и видео на смартфоне. Эта система использует методы и алгоритмы обработки изображений и машинного обучения компьютерного зрения. Наша система состоит из трех основных частей: извлечение антропометрических признаков, процессы обучения и тестирования, классификация новых данных (рис. 1). Новизна нашего подхода заключаются в следующих пунктах: Классификация антропометрических признаков на основе алгоритмов машинного обучения; Разработка программного комплекса бесконтактной антропометрии для смартфона; Создание 3D-модели человеческого тела на основе полученных антропометрических признаков.

Алгоритм извлечения антропометрических признаков из видео. Для решения задачи извлечения антропометрических признаков с изображения и видео предложен алгоритм, основанный на комбинации новейших методов - технике предварительной обработки изображений, алгоритме вычитания фона, алгоритме сегментации изображений на основе разреза на графах, алгоритме итеративных ближайших точек. В этом алгоритме, человек рассматривается как объект и появляется на картине. Процесс извлечения антропометрических признаков объектов на изображении и видео на основе алгоритма компьютерного зрения включает в себя следующие этапы:

Шаг 1: Предварительная обработка изображения; Вначале происходит преобразование входного изображения из формата RGB в полутоновое изображение. Предварительная обработка и нормализация изображения: на этапе необходимо выполнить фильтрацию шума и сглаживание изображения, применить морфологические операторы для улучшения качества контура объекта, использовать уравнивания гистограммы, чтобы сбалансировать яркость, кон-

траст в условиях низкой освещенности для системы захвата изображений, видео с хорошим качеством.

Шаг 2: Обнаружение объектов. На основе фотографий с помощью модели, основанной на алгоритме вычитания фона. Основная идея алгоритма вычитания фона моделью следующая. Пиксель в положении в изображении принадлежит доминирующая компонента, если он удовлетворяет неравенству: $|I_n(x) - B_n(x)| \geq T_n(x)$. Здесь $I_n(x) \in [0,255]$ - значение интенсивности серого в позиции пикселя x принадлежит n -му изображению или видеофрагменту; $B_n(x)$ - значение интенсивности фона в местоположении пикселя x ; $T_n(x)$ - пороговое значение задается для каждого изображения. Модель базового фона постоянно обновляется из исходных изображений или видео по формула:
$$B_{n+1}(x) = \begin{cases} \alpha B_n(x) + (1 - \alpha) I_n(x), & x \in BG, \\ \beta B_n(x) + (1 - \beta) I_n(x), & x \in FG, \end{cases};$$

$$T_{n+1}(x) = \begin{cases} \alpha T_n(x) + (1 - \alpha) (|I_n(x) - B_n(x)|), & x \in BG, \\ T_n(x), & x \in FG, \end{cases}$$

Шаг 3: Сегментация изображения алгоритмом разреза на графах. Поиск области изображения, содержащего части тела человека на основе формулы определения энергии пикселей $E(f) = \sum_{p \in P} D_p(f_p) + \sum_{p,q \in N} V_{p,q}(f_p, f_q)$. Найти маркировки $f : P \rightarrow L$, что сводит к минимуму $E(f)$ из множеств пикселей P , набор этикеток $L, N \in P$ является система соседства по пикселям. $D_p(f_p)$ является функцией, которая получена из данных наблюдений, и которая измеряет стоимость присвоения метки f_p на пиксель p . $V_{(p,q)}(f_p, f_q)$, и измеряет стоимость присвоения метки f_p, f_q на соседние пиксели p, q . Используется для улучшения пространственной гладкости (Boykov2004).

Шаг 4: Обнаружение контура и поиск ключевых точек признаков – алгоритм *ICP*. Используем соответствующее максимальное пороговое значение d_{max} . d_{max} представляет собой баланс между сходимостью и точностью. Алгоритм *ICP* повторяет действия, чтобы минимизировать среднеквадратичную ошибку пикселей, соответствующих ближайшей точке. $T \leftarrow \operatorname{argmin}_t \left\{ \sum_i \|T.b_i - m_i\|^2 \right\}$. Набор новых точек будет найден, если он удо-

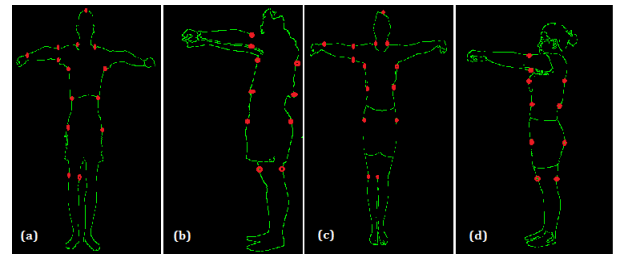


Рис. 1 — Результаты извлечения 12 антропометрических признаков

влетворяет двум условиям: Расположен на границе или наиболее близко к границам объекта; Расстояние между двумя наборами точек считается наименьшим. Расчет евклидова расстояния: $d(A, B) = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2}$.

Шаг 5:Создание антропометрического вектора признаков

Экспериментальное оценивание точности извлечения антропометрических признаков. В этой части представлен результат извлечения антропометрических признаков на основе алгоритма компьютерного зрения с 50 изображений. Такие изображения собраны автором. Извлечение признаков состоит из 2 главных этапов: Предварительная обработка изображения, преобразование изображения в оттенках серого, фильтрация шумов, разряжение пикселей, балансировка гистограммы для получения лучшего качества изображения; Извлечение точек признаков с использованием алгоритма вычитания фона, обнаружения человеческого лица, сегментации изображения, поиска точек признаков.

Для оценки эффективности процесса извлечения признаков применяются средняя абсолютная ошибка - *MAPE*. Она служит для оценки точности прогноза, показывает на сколько велики ошибки в сравнении со значениями ряда. Хороша для сравнения 1 — модели для разных рядов. Используется для сравнения разных моделей для одного ряда. Формула расчета *MAPE*: $M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right|$, Где: A_t : Результат измерений, рассчитанных вручную; F_t : Результат извлечения антропометрических признаков.

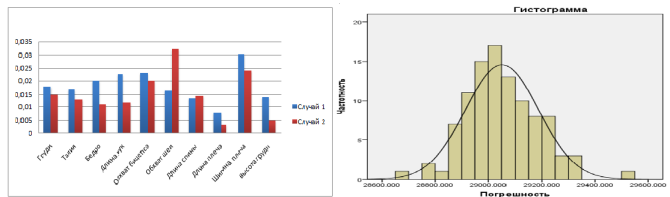


Рис. 2 — Погрешность разработанного метода антропометрии.

Приложение алгоритма Random Forest (случайного леса) для классификации антропометрических данных В данной работе предлагается алгоритм для оценки и поиска набора признаков из исходного набора атрибутов. Шаги выполнения алгоритма обозначается следующим образом:

Шаг 1: Создание m наборов признаков из n наборов первоначальных признаков. Каждый набор содержит $2\frac{n}{m}$ признаки. В том числе: $\frac{n}{m}$ признаки равны; $\frac{n}{m}$ случайные признаки.

Шаг 2: Использование Random Forest для того, чтобы вычислять оценку наборов признаков \Rightarrow получение набора значений $f(i), i = (1, \dots, m)$;

Шаг 3: взвешивание каждого признака i рассчитывается по формуле: $w_j = \sum_{i=1}^m k f_i$; $k_{ij} = 0$, если признак i не выбран в наборе признака j ; $k_{ij} = 1$, если признак выбран в наборе признака j .

Шаг 4: Разработка нового признака включает в себя % лучших признаков;

Шаг 5: Повторение шага 1 для удовлетворения одного из двух условий: Количество признаков < порога разрешено; Количество циклов определено.

Формирование опорных точек с признаками объектной принадлежности. В этом разделе представлен подход к реконструкции 3D-модели человека ¹ на основе антропометрических признаков, которые были извлечены и классифицированы из 2D-изображений. Мы используем набор данных антропометрических признаков для построения 3D-модели точной и эффективной в соответствии с формой и фактическим размером объекта. Процесс построения антропометрических модели включает следующие шаги:

Шаг 1: Описание текстурных характеристик человеческого тела (кожа, волосы, лицо), а также текстуры одежды;

Шаг 2: Разработка 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) содержит информацию каждой модели.

В третьей главе описывается анализ проектирования системы компьютерного зрения в антропометрии для практических применений: Текстильное приложение и фитнес-приложение. Система анализируется с помощью анали-

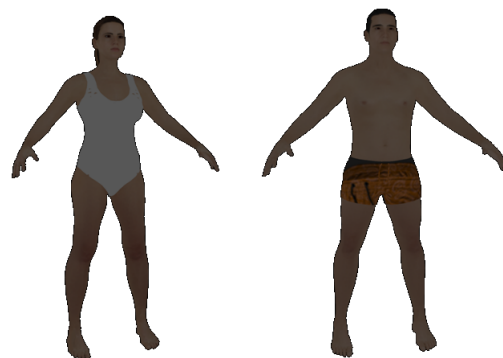


Рис. 3 — Результаты

антропометрических моделей

¹(С.Н. Грудинин - 2009), (С.Н. Грудинин -2014) предложен способ построения 3D-моделей на основе параметрического моделирования антропометрических характеристик человеческого тела.

тических методов объектно-ориентированного UML. Программа описывается диаграммами: диаграмма прецедентов, диаграмма классов, диаграмма последовательности. Классы подробно анализируются, с указанием задач каждого компонента в программе. Также, в главе доказывается целесообразность проектирования приложений компьютерного зрения в антропометрии;

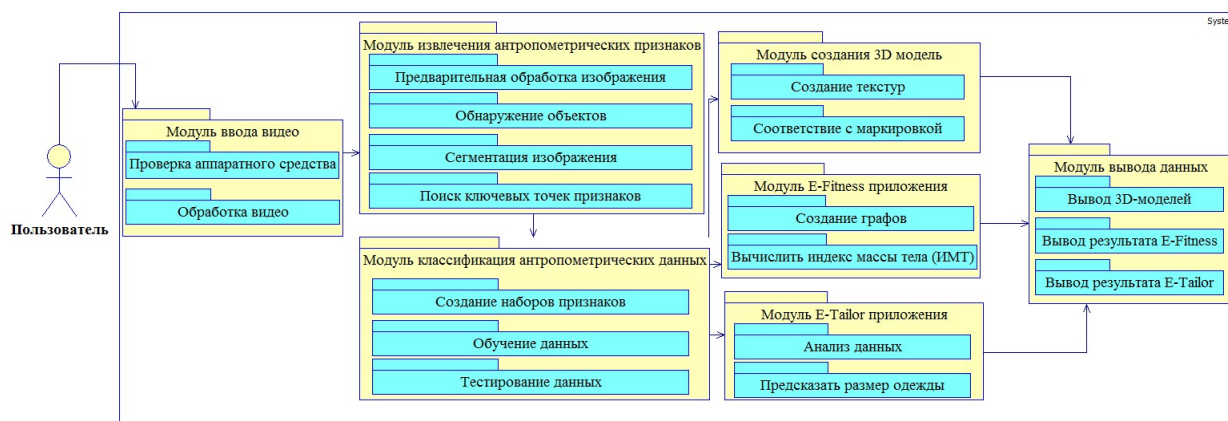


Рис. 4 — Структура ПО

Анализ практических результатов экспериментов периода извлечения антропометрических признаков. Сравнение результатов предложенных алгоритмов с другими алгоритмами по точности. Доказывается преимущество приведенного алгоритма на основе метода разреза на графах и итеративного алгоритма ближайших точек.

Сравнение результатов классификации между алгоритмом случайного леса и алгоритмом Boosting, работающими с видео, показало, что по точности и времени выполнения, более результативный алгоритм случайного леса для системы компьютерного зрения в антропометрии. Алгоритм случайного леса полностью совместим с визуальной системой.

В четвертой главе Описание среды разработки приложения Android, библиотек поддержки алгоритмов компьютерного зрения OpenCV, поддержки построения 3D-моделей человеческого тела MakeHuman и библиотеки поддержки 3D для Android – Min3D. Описание и инструкция для скачивания программы. Инструкция конфигурации библиотеки OpenCV с Android. Разработка приложения компьютерного зрения в антропометрии для пошива одежды (E-Tailor). Главные функции: автоматизация извлечения антропометрических признаков и классификация размеров одежды. Разработка приложения ком-

пьютерного зрения в антропометрии для фитнеса (E-Fitness). Главные функции: автоматизация извлечения антропометрических признаков, построение 3D-моделей человеческого тела, анализ и сравнение признаков по телосложению, индексу массы тела (ИМТ). Приложения разработаны на ОС Android для смартфонов и на основе методов и алгоритмов компьютерного зрения для извлечения и классификации антропометрических признаков. Программный модуль имеет простой, удобный и интуитивно понятный интерфейс.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

В данной диссертации решены практические задачи научно-технических исследований и разработок алгоритмов компьютерного зрения в антропометрии на изображении и видео.

В диссертации выполнены работы и получены научно-практические результаты. Основные выводы заключаются в следующем:

1. Исследование и разработка алгоритмов компьютерного зрения для извлечения антропометрических признаков на изображении и видео, основанные на комбинации алгоритмов сегментации изображений разреза на графах (Graph-cuts) и итеративного алгоритма ближайших точек (ICP), построение множества ключевых точек объектов;
2. Предложена модель и разработка алгоритма классификации данных методом случайного леса (Random Forest) для приложения, которое классифицирует объекты на основе антропометрических признаков;
3. Разработка алгоритмов и методов компьютерного зрения в антропометрии на изображениях и видео с наличием шума и в режиме реального времени;
4. Построение антропометрических 3D-моделей человеческого тела на основе результата извлечения антропометрических признаков;
5. Развитие системы компьютерного зрения в антропометрии для смартфонов на ОС Android: приложение «E-Tailor» для текстильной промышленности и приложение «E-Fitness» для фитнеса.

Издания, входящие в Перечень ВАК РФ, индексируемых Web of Science:

- [1] Nguyen, T. L. Automatic Anthropometric System Development Using Machine Learning [Text] / T. L. Nguyen, T. H. Nguyen // BRAIN. Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience - Thomson-Reuters. — 2016. — Vol. 7, no. 2. — P. 5–15.
- [2] Нгуен, Т. Л. Об автоматизации извлечения и классификации антропометрических признаков [Текст] / Л. Т. Нгуен, Х. Т. Нгуен // Вестник Иркутского гос. технического ун-та. — 2015. — № 4. — С. 17–23.
- [3] Нгуен, Т. Л. О распознавании и классификации дефектов дорожного покрытия на основе изображений [Текст] / Л. Т. Нгуен, Х. Т. Нгуен // Вестник Иркутского гос. технического ун-та. — 2016. — № 4. — С. 17–23.

Издания, включенные в РИНЦ

- [4] Nguyen, T. L. A Robust Approach for Defects Road Pavement Detection and Classification [Text] / T. L. Nguyen, D. N. Sidorov, T. H. Nguyen // Journal of Computational and Engineering Mathematics. — 2016. — Vol. 3, no. 3. — P. 40–52.

Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ

- [5] Нгуен, Т. Л. Программа бесконтактной антропометрии для смартфонов на операционной системе Андроид: свидетельство № 2016611475 [Текст] / Л. Т. Нгуен, Д. Н. Сидоров, Х. Т. Нгуен//. — Правообладатель ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет». Реестр программ для ЭВМ. — 2016. — заявл. 04 декабря 2015 г., зарегистр. 03 февраля 2016 г.
- [6] Нгуен, Т. Л. Программа автоматического обнаружения и классификации дефектов дорожного покрытия: свидетельство № 2016619386 [Текст] / Л. Т. Нгуен, Д. Н. Сидоров, Х. Т. Нгуен//. — Правообладатель ФГБОУ

ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет». Реестр программ для ЭВМ. — 2016. — заявл. 24 июня 2016 г., зарегистр. 18 августа 2016 г.

Прочие издания

- [7] Нгуен, Т. Л. Автоматизация антропометрических измерений и извлечение признаков из 2D-изображений [Текст] / Л. Т. Нгуен, Х. Т. Нгуен // Байкальская международная школа-семинар "методы оптимизации и их приложения". О. Ольхон, Иркутск— 2014. — С. 153.
- [8] Нгуен, Т. Л. Построение программы для обнаружения контуров человека в изображении с помощью методов математической морфологии [Текст] / Л. Т. Нгуен, Х. Т. Нгуен // Материалы всероссийской молодежной научно-практической конференции "Винеровские чтения 2014". Иркутск: Изд-во Иркутск.— 2014. — С. 10.
- [9] Нгуен, Т. Л. Классификация и кластерный анализ антропометрических признаков [Текст] / Л. Т. Нгуен // Материалы всероссийской молодежной научно-практической конференции "Винеровские чтения 2015". Иркутск: Изд-во Иркутск.— 2015. — С. 8.
- [10] Нгуен, Т. Л. Методы математической морфологии в цифровой обработке изображений [Текст] / Л. Т. Нгуен, Х. Т. Нгуен // Труды XIX Байкальской Всероссийской конференции "информационные и математические технологии в науке и управлении". Иркутск: ИСЭМ СО РАН.— 2014. — С. 75–81.
- [11] Nguyen, T. L. Studies of Anthropometrical Features using Machine Learning Approach [Text] / L. T. Nguyen, H. T. Nguyen, A. Zhukov // Supplementary Proceedings of the 4th International Conference on Analysis of Images, Social Networks and Texts (AIST 2015). CEUR Workshop Proceedings. — 2015. — P. 96–105.
- [12] Нгуен, Т. Л. Анализ антропометрических признаков с использованием методов машинного обучения [Текст] / Л. Т. Нгуен, Х. Т. Нгуен // Меж-

дисциплинарные исследования в области математического моделирования и информатики . Ульяновск: Изд-во SIMJE.— 2015. — С. 204–210.

- [13] Nguyen, T. L. On Road Defects Detection and Classification [Text] / L. T. Nguyen, H. T. Nguyen, A. Zhukov // Supplementary Proceedings of the 5th International Conference on Analysis of Images, Social Networks and Texts (AIST 2016). CEUR Workshop Proceedings. — 2015. — Vol. 1710.— P. 266–278.