

На правах рукописи



КУЛЬКОВ ЯРОСЛАВ ЮРЬЕВИЧ

**МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ БЕЗРАЗМЕРНЫХ ПРИЗНАКОВ И
АЛГОРИТМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ И
НАЛОЖЕННЫХ ПЛОСКИХ ОБЪЕКТОВ**

Специальность: 05.13.17 – Теоретические основы информатики
(технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Нижний Новгород
2018

Работа выполнена на кафедре «Системы автоматизированного проектирования» Муромского института (филиала) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования (ФГБОУ ВО) «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ)

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор,
Садыков Султан Сидыкович,
профессор кафедры «Информационные системы» Муромского института (филиала) ВлГУ, г. Муром, Владимирская область.

Официальные оппоненты: **Приоров Андрей Леонидович**, доктор технических наук, доцент, доцент кафедры инфокоммуникаций и радиопизики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова», г. Ярославль;

Шидловский Станислав Викторович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры управления качеством, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», г. Томск.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный университет», г. Пенза

Защита диссертации состоится «__» _____ 201__ года в __.00 часов в ауд. _____ на заседании диссертационного совета Д 212.165.05 при Нижегородском государственном техническом университете им. Р.Е. Алексеева по адресу: 603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева и на сайте <http://www.nntu.ru/content/aspirantura-i-doktorantura/dissertacii>.

Автореферат разослан «__» _____ 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,

Суркова Анна Сергеевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. На предприятиях машиностроения механизировано не более 20–25 % сборочных операций и только около 5% – автоматизировано. В приборостроении и в электронной промышленности уровень механизации не превышает 30–35 %, а автоматизации – 10–15%. Поэтому решению проблемы механизации и автоматизации сборочных работ как одному из эффективных путей совершенствования производства во всех отраслях промышленности придается большее значение. Для решения данной задачи применяются роботизированные комплексы, оснащенные манипуляторами.

В машиностроении используются отечественные сборочные манипуляторы типов ММ1200П и ММ2500П, промышленные роботы КМ0.63Ц.4212, КМ10Ц42.31, "Универсал-15", "Универсал-50", "Циклон-5С" и зарубежные специализированные сборочные роботы "Sigma/Mtg" фирмы Olivetti (Италия), "Hi-T-Hand Expert" фирмы Hitachi Ltd (Япония) и более универсальные типа ScARA фирмы Omron (Япония). К недостаткам данных комплексов можно отнести их громоздкость, а также ориентированность на выполнение только одной операции – захват и перемещение детали с заданной ориентацией и расположенной в заранее известных координатах. Построенные по такому принципу сборочные комплексы должны иметь в своем составе столько роботов или манипуляторов, сколько деталей имеет собираемое изделие. Произвольно расположенные детали не могут использоваться в сборочных операциях, что приводит к необходимости применения дополнительных устройств предварительной ориентации деталей в пределах рабочего поля.

Применение систем технического зрения (СТЗ) позволяет резко уменьшить количество манипуляторов и роботов, как например в системе автоматической сборки АBB IRB 120 или АBB IRB 1600 (фирмы АBB, Швеция). Недостатком данных систем является то, что они работают только с заранее ориентированными деталями при их фиксированном масштабе, что приводит к необходимости точной калибровки камеры. Изменение в процессе работы положения камеры относительно рабочего поля приводит к необходимости повторной калибровки и переобучения системы.

Для автоматизации и повышения производительности сборочных операций необходимо чтобы сборочный комплекс мог определять тип поступающей детали, а также ее координаты для захвата манипулятором, независимо от ее ориентации и расположения. Решить данную задачу можно с применением распознающей системы, результатом работы которой будет определение типа детали и координаты ее центра. Определить тип детали при произвольном ее расположении и ориентации на входе СТЗ возможно, если алгоритм распознавания использует признаки, инвариантные к вращению, перемещению и некоторому изменению масштаба изображения объекта. Этому требованию наилучшим образом отвечают топологические признаки объектов. Однако на основе только этих признаков классифицировать множество типов объектов практически невозможно.

Отсутствие инвариантных к перемещению, повороту и изменению масштаба признаков изображения на входе СТЗ вынуждает разработчиков сборочных автоматов использовать заранее ориентированные объекты на входе СТЗ при фиксированном масштабе, как например, в системах R-серии RS003N или RS005L (фирмы Kawasaki Robotics, Япония).

Анализ отечественных и зарубежных литературных источников по СТЗ, показал, что подавляющее большинство существующих СТЗ, используемых в промышленности, работают с бинарными изображениями объектов. В них как признаки для распознавания используются различные прямые и дополнительные геометрические параметры и характеристики форм изображений объектов. Но эти признаки не являются инвариантными повороту, перемещению и изменению масштаба изображения на входе СТЗ и поэтому не удается решить задачу распознавания произвольно расположенных объектов. В промыш-

ленных СТЗ, наибольшее применение как признак для распознавания объектов использован внешний контур их бинарных изображений.

Большую часть номенклатуры изделий, используемых при сборочных операциях, составляют плоские детали. Под плоским в данной задаче понимается объект, у которого есть только два устойчивых положения, имеющие одинаковое изображение.

В связи с вышеизложенным, актуальной является:

– разработка метода формирования безразмерных признаков (БРП) на основе параметров контуров и выпуклых оболочек бинарных изображений отдельных и наложенных плоских объектов;

– разработка алгоритмов распознавания отдельных и наложенных плоских объектов с использованием БРП, позволяющие классифицировать объекты при перемещении, вращении и изменении масштаба их изображений на входе СТЗ;

– создание макета системы распознавания произвольно расположенных на ее входе отдельных и наложенных плоских деталей и изделий, как основы для сборочного автомата с широкими функциональными возможностями.

Алгоритмическую основу СТЗ составляют методы обработки, анализа и распознавания изображений.

Большой вклад в разработку методов и алгоритмов обработки, анализа и распознавания изображений внесли зарубежные ученые – Дуда Р., Харт П., Фукунага К., Прэтт У., Фу К., Гонсалес Р., Патрик Э. и другие, отечественные – Арлазоров В.Л., Журавлев Ю.И., Фурман Я.А., Вапник В.Н., Сойфер В.А., Васильев В.И., Абламейко С.В., Путятин Е.П., Пяткин В.П., Титов В.С., Киричук В.С., Садыков С.С. и многие другие.

Целью диссертационной работы является разработка, исследование и практическое применение метода формирования безразмерных признаков, алгоритмов и системы распознавания отдельных и наложенных плоских объектов по их бинарным изображениям.

Исходя из цели работы, поставлены следующие основные задачи исследования:

1. Оценка состояния проблемы механизации и автоматизации сборочных работ в промышленности;

2. Анализ систем, алгоритмов и признаков, используемых для распознавания плоских объектов по их изображениям;

3. Разработка и исследование метода формирования безразмерных признаков плоских объектов по контурам и выпуклым оболочкам их бинарных изображений, инвариантных вращению, переносу и изменению масштаба изображения;

4. Разработка и исследование алгоритмов распознавания отдельных плоских объектов по их безразмерным признакам;

5. Разработка и исследование алгоритма распознавания класса наложенных плоских объектов;

6. Разработка и исследование алгоритма распознавания отдельных объектов в наложенном;

7. Создание действующего макета системы распознавания плоских объектов и ее практическое применение для проведения экспериментальных исследований.

Объект исследования – методы распознавания тестовых и реальных плоских объектов.

Предмет исследования – метод формирования безразмерных признаков и алгоритмы распознавания отдельных и наложенных плоских объектов.

Соответствие паспорту специальности.

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 05.13.17 - Теоретические основы информатики, а именно:

п.5 в части разработки и исследования метода формирования безразмерных признаков отдельных и наложенных плоских объектов путем анализа их бинарных изображений;

п.7 в части разработки алгоритмов и системы распознавания отдельных и наложенных плоских объектов, обеспечивающих высокую точность распознавания как тестовых, так и реальных плоских изделий и деталей.

Методы исследования. В работе использованы методы математической статистики, распознавания образов, цифровой обработки изображений.

Научная новизна. В результате проведенных исследований:

1. Разработан метод формирования безразмерных признаков отдельных и наложенных плоских объектов, отличающийся использованием первичных параметров контуров и выпуклых оболочек их бинарных изображений, позволяющий получать признаки, инвариантные к повороту, переносу и изменению масштаба изображения объекта в поле зрения распознающей системы;

2. Разработан алгоритм распознавания отдельных плоских объектов на основе их безразмерных признаков выпуклых оболочек, отличающийся меньшим числом эталонов и временем распознавания чем в известных системах, использующих другие признаки и позволяющий идентифицировать произвольно расположенный объект с ошибкой 10^{-3} и менее при среднем времени 56 мс/объект;

3. Разработан алгоритм распознавания наложенных плоских объектов на основе безразмерных признаков выпуклых оболочек, позволяющий идентифицировать класс произвольно расположенного наложенного объекта с ошибкой 10^{-3} и менее при среднем времени 1180 мс/объект;

4. Разработан алгоритм распознавания отдельных плоских объектов в наложенном состоянии, отличающийся от ранее известных использованием цепных кодов контуров отдельных и наложенных объектов, позволяющий идентифицировать каждый отдельный объект в наложенном с ошибкой 10^{-3} и менее при среднем времени 820 мс/объект.

Практическая ценность работы.

1. Экспериментальные исследования подтвердили научную гипотезу о возможности использования безразмерных признаков на основе параметров контуров и выпуклых оболочек бинарных изображений для распознавания произвольно расположенных отдельных и наложенных плоских объектов при некотором изменении их масштаба;

2. Установлена возможность распознавания отдельных плоских объектов на наложенном на основе цепных кодов контуров их бинарных изображений;

3. Создан комплекс программ и макет системы распознавания произвольно расположенных отдельных и наложенных плоских деталей и изделий, который используется на кафедре САПР при выполнении лабораторных и учебных исследовательских работ;

4. Результаты научной работы внедрены на промышленном предприятии АО «Производственное объединение Муромский машиностроительный завод» и в учебном процессе на кафедре САПР МИ ВлГУ.

Личный вклад автора состоит:

– в личном участии автора на всех стадиях исследований по достижении цели диссертации;

– в непосредственном участии в теоретических разработках, связанных с созданием метода формирования безразмерных признаков плоских объектов по контурам и выпуклым оболочкам их бинарных изображений и алгоритмов распознавания;

– в личном участии в создании программных средств, макета системы распознавания и проведения всех экспериментальных исследований;

– в личном участии по внедрению результатов научной работы на предприятии АО «Производственное объединение Муромский машиностроительный завод», а также в учебный процесс кафедры САПР ФБГОУ ВО МИ ВлГУ.

– в том, что результаты, опубликованные совместно с другими авторами, принадлежат авторам в равных долях.

Степень достоверности результатов исследований работы обусловлен тем, что:

– теоретическая составляющая диссертации основана на известных и проверенных данных, согласуется с опубликованными экспериментальными результатами по теме и смежным отраслям в изданиях, рекомендованных ВАК РФ;

– предлагаемый в работе подход базируется на анализе существующих в области распознавания объектов, а также развитии алгоритмов анализа изображений плоских объектов;

– в работе использованы современные методики сбора и обработки информации с применением современных средств информационной техники и технологий.

Теоретическая значимость исследования.

1. Впервые показано, что выпуклые оболочки бинарных изображений плоских объектов можно использовать как важный структурный элемент для их распознавания;

2. Доказана возможность формирования безразмерных признаков отдельных и наложенных плоских объектов по параметрам контуров и выпуклых оболочек их бинарных изображений, использование которых обеспечивает высокую точность распознавания произвольно расположенных объектов;

3. Установлена инвариантность БРП к переносу, вращению и изменению масштаба плоского объекта в поле зрения распознающей системы.

На защиту выносятся:

1. Метод формирования безразмерных признаков отдельных и наложенных плоских объектов на основе первичных параметров контуров и выпуклых оболочек их бинарных изображений, позволяющий строить признаки, инвариантные повороту, сдвигу и изменению масштаба изображения объекта в поле зрения распознающей системы;

2. Алгоритмы распознавания отдельных и наложенных плоских объектов по БРП, сформированных на основе параметров контуров и выпуклых оболочек бинарных изображений, позволяющие идентифицировать произвольно расположенные отдельные реальные детали и изделия с ошибкой 10^{-3} и менее при среднем времени 56 мс/объект, а наложенные детали с ошибкой 10^{-3} и менее при среднем времени 1180 мс/объект;

3. Алгоритм распознавания отдельных плоских объектов в наложенном, обеспечивающий ошибку 10^{-3} и менее, среднее время идентификации 820 мс/объект;

4. Результаты экспериментальных исследований, показавшие, что для более точного и быстрого распознавания отдельных и наложенных плоских объектов целесообразно использовать БРП на основе параметров выпуклых оболочек их бинарных изображений;

5. Макет системы распознавания плоских деталей и изделий, являющийся основой для создания СТЗ сборочного и сортировочного роботов с широкими функциональными возможностями.

Реализация результатов исследования. Разработанные алгоритмы и система распознавания отдельных и наложенных плоских объектов внедрены в производство на промышленном предприятии АО «Производственное объединение Муромский машиностроительный завод», а также в учебный процесс по дисциплине «Цифровая обработка информации», о чем свидетельствуют акты, приведенные в приложении к диссертации.

Апробация работы. Материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались на: Международной научно-технической конференции «Пром-Инжиниринг» (г. Челябинск, 2015); XII Международном симпозиуме «Интеллектуальные системы» (г. Москва, 2016); Международном симпозиуме «Надежность и качество» (г. Пенза, 2016

г., 2017 г.); X Международной IEEE научно-технической конференции «Динамика систем, механизмов и машин» (г.Омск, 2016 г.); Республиканской научно-технической конференции «Современное состояние и перспективы применения информационных технологий в управлении» (г.Джизак, 2016 г.); XIII International Conference «Pattern Recognition and Information Processing» (Minsk, Belarus, 2016); Международной конференции «Распознавание 2017» (г. Курск, 2017 г.), а также на VIII, IX Всероссийских межвузовских научных конференциях «Наука и образование в развитии промышленной, социальной и экономической сфер регионов России» (г. Муром, 2016 г., 2017 г.); X Ежегодной научной сессии аспирантов и молодых ученых (г.Вологда, 2016 г.); Вузовская наука-региону (г.Вологда, 2017 г.).

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в 27 печатных работах, в том числе в 8 статьях в журналах из списка ВАК и 3 работы в изданиях, индексируемых в реферативной базе данных Scopus. Получен один патент на полезную модель.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка литературы из 96 наименований и 4 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель работы, решаемые задачи, научная новизна исследований и результаты, выносимые на защиту, теоретическая и практическая значимости работы, предмет и методы исследований, краткое содержание диссертационной работы.

В первой главе рассмотрены особенности систем, применяемых в механизации и автоматизации сборочных работ в промышленности. Дан анализ комплексов, оснащенных роботами-манипуляторами и снабженных системами технического зрения. Рассмотрена обобщенная схема СТЗ и ее компоненты, их назначение, проанализированы серийные зарубежные и отечественные СТЗ, указаны достоинства и недостатки. Установлено, что существующие сборочные комплексы, оборудованные СТЗ, работают, в основном, с предварительно ориентированными деталями, то есть располагающимися в одном фиксированном положении, чувствительны к изменению масштаба изображения объекта, что приводит к необходимости повторной калибровки при изменении положения камеры. Отдельные системы, позволяющие работать с неориентированными деталями, используют стереокамеры и длительное время формирования изображения рабочего поля.

Рассмотрены разновидности признаков, используемых для распознавания плоских объектов. Показано, что наиболее часто для распознавания плоских объектов используются признаки, а также параметры контуров их бинарных изображений, кривизна, сигнатура, которые не являются инвариантными повороту, перемещению и изменению масштаба изображения.

Показано, что основными алгоритмами обработки изображений объектов в СТЗ являются фильтрация шумов полутоновых изображений, сегментация, маркировка связанных компонент, выделение контура бинарного изображения.

Показано, что до сих пор выпуклые оболочки бинарных изображений объектов не использовались для их распознавания.

Рассмотрены разновидности алгоритмов и методов распознавания, используемых в СТЗ. Показано, что наиболее часто используется метод ближайших соседей.

В результате анализа для дальнейшего использования выбраны: алгоритм медианной фильтрации шумов полутоновых изображений; для бинаризации полутоновых изображений используется метод Отсу; для маркировки объектов выбран рекурсивный алгоритм; для выделения контура бинарного изображения используется метод направленного перебора; для идентификации объектов используется метод ближайшего соседа.



Рис.1 – Отдельные тестовые плоские объекты

Показано, что существующие алгоритмы и системы неудовлетворительно решают задачи распознавания произвольно ориентированных и наложенных плоских объектов.

Глава 2 посвящена разработке и исследованию метода формирования безразмерных признаков и алгоритмов распознавания отдельных тестовых объектов по безразмерным признакам контуров и выпуклых оболочек их бинарных изображений. Экспериментальные исследования проведены с использованием 20000 сгенерированных на компьютере отдельных тестовых плоских объектах (ОТПО), сформированных из 10 исходных ОТПО (рис.1) размером 512x512 точек с помощью программ случайной ориентации и случайного местоположения объектов на рабочем поле (размером 1024x1024 точек).

Метод формирования безразмерных признаков по контуру бинарного изображения плоского объекта осуществляется следующим образом:

1) вычисляется количество точек, образующих бинарное изображение плоского объекта – S_0 ;

2) выделяется контур бинарного изображения и подсчитывается количество точек, образующих данный контур – P_0 ;

3) вычисляется метрическая длина контура

$$L_{\text{конт.}} = [1 \cdot (N_1 + N_3 + N_5 + N_7) + \sqrt{2} \cdot (N_2 + N_4 + N_6 + N_8)], \quad (1)$$

где N_1, N_3, N_5, N_7 – количество точек дискретного контура, расположенных в направлении 1,3,5,7 от текущей точки *; N_2, N_4, N_6, N_8 – количество точек дискретного контура, расположенных в направлении 2,4,6,8 от текущей (рис.2).

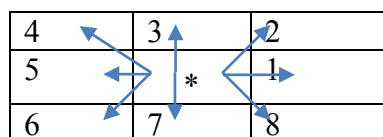


Рис.2 – Схема направлений сканирования точек дискретной линии

4) определяются значения кривизны в точках контура. Поскольку контур состоит из 4-связных и D-связных точек, то в точках контура могут быть значения кривизны $0^\circ, 90^\circ, 135^\circ$, которые устанавливаются путем сканирования контура соответствующими масками – эталонами размером 3x3 точки;

5) определяется количество точек контура, принадлежащих линейным, вогнутым и выпуклым его участкам. Данная операция также выполняется путем сканирования контура с указанными значениями кривизны в его точках масками-эталонами размером 3x3 точки. В результате будут найдены M_1, M_2, M_3, M_4, M_5 – количество точек с значениями $+90, -90, +135, -135$ и 0 , соответственно. Точки с кривизной $+90$ и $+135$ принадлежат выпуклым, -90 и -135 – вогнутым, 0 – линейным участкам контура.

6) Определяется длина отдельных выпуклого (вогнутого) участка контура в точке с кривизной 90 и 135 .

$$L_i = 2 \cdot b, \quad (2)$$

где b – длина D-связной точки;

$$L_i = a + b, \quad (3)$$

где a – длина 4-х связной точки.

Отсюда получаем:

– общая длина выпуклых участков контура в точках с кривизной $+90$

$$M_6 = 1/2 \cdot (M_1 \cdot L_j) = 1/2 \cdot (M_1 \cdot 2 \cdot b) \quad (4)$$

– общая длина выпуклых участков контура в точках с кривизной $+135$

$$M_7 = 1/2 \cdot (M_3 \cdot L_j) = 1/2 \cdot [M_3 \cdot (a + b)] \quad (5)$$

– общая длина вогнутых участков контура с кривизной -90

$$M_8 = 1/2 \cdot (M_2 \cdot L_j) = 1/2 \cdot (M_1 \cdot 2 \cdot b) \quad (6)$$

– общая длина вогнутых участков контура в точках с кривизной +135

$$M_9 = 1/2 \cdot (M_4 \cdot L_j) = 1/2 \cdot [M_4 \cdot (a + b)] \quad (7)$$

7) Определяется длина линейных участков контура:

– длина линейных участков контура, образованных из 4-х связных точек

$$L_{\text{лин}4} = 2 \cdot a \quad (8)$$

– длина линейных участков контура, образованных из D-связных точек.

Отсюда получаем:

$$L_{\text{лин}D} = 2 \cdot b \quad (9)$$

– общая длина линейных участков контура, образованных 4-х связными точками

$$L_{\text{общ.лин.}4} = 1/2 \cdot (M_{10} \cdot L_{\text{лин}4}) = 1/2 \cdot (M_{10} \cdot 2 \cdot a) \quad (10)$$

– общая длина линейных участков контура, образованных D-связными точками;

$$L_{\text{общ.лин.}D} = 1/2 \cdot (M_{11} \cdot L_{\text{лин}D}) = 1/2 \cdot (M_{11} \cdot 2 \cdot b) \quad (11)$$

8) определяем общую длину выпуклых, вогнутых и линейных участков контура

$$L_{\text{общ.вып.}} = 1/2 \cdot [M_1 \cdot 2 \cdot b + M_3 \cdot (a + b)]; \quad (12)$$

$$L_{\text{общ.вог.}} = 1/2 \cdot [M_2 \cdot 2 \cdot b + M_4 \cdot (a + b)]; \quad (13)$$

$$L_{\text{общ.лин.}} = 1/2 \cdot (M_{10} \cdot 2 \cdot a + M_{11} \cdot 2 \cdot b). \quad (14)$$

Безразмерные признаки формируются из вычисленных первичных параметров бинарного изображения и его контура, как соотношение величин с одинаковой размерностью (табл.1).

С использованием всех 28 БРП было осуществлено распознавание 20000 ОТПО. На этапе обучения проведен выбор эталонов внутри 2000 объектов каждого из 10 классов ОТПО.

В таблице 2 приведено число эталонов, обеспечивающих 100 процентное распознавание всех 2000 объектов всех 10 классов ОТПО.

Таблица 1. Безразмерные признаки по контуру

$K_1 = P_0 / S_0$	$K_{15} = L_{\text{общ.вог.}} / L_{\text{конт.}}$
$K_2 = M_1 / S_0$	$K_{16} = L_{\text{общ.вып.}} / L_{\text{конт.}}$
$K_3 = M_2 / S_0$	$K_{17} = M_1 / (M_1 + M_2 + M_3 + M_4)$
$K_4 = M_3 / S_0$	$K_{18} = M_2 / (M_1 + M_2 + M_3 + M_4)$
$K_5 = M_4 / S_0$	$K_{19} = M_3 / (M_1 + M_2 + M_3 + M_4)$
$K_6 = M_{10} / S_0$	$K_{20} = M_4 / (M_1 + M_2 + M_3 + M_4)$
$K_7 = M_{11} / S_0$	$K_{21} = L_{\text{общ.лин.}} / (L_{\text{общ.лин.}} + L_{\text{общ.вып.}} + L_{\text{общ.вог.}})$
$K_8 = M_1 / P_0$	$K_{22} = L_{\text{общ.вып.}} / (L_{\text{общ.лин.}} + L_{\text{общ.вып.}} + L_{\text{общ.вог.}})$
$K_9 = M_2 / P_0$	$K_{23} = L_{\text{общ.вог.}} / (L_{\text{общ.лин.}} + L_{\text{общ.вып.}} + L_{\text{общ.вог.}})$
$K_{10} = M_3 / P_0$	$K_{24} = (M_1 + M_2 + M_3 + M_4) / (P_0 + S_0 + M_{10} + M_{11})$
$K_{11} = M_4 / P_0$	$K_{25} = (M_{10} + M_{11}) / (P_0 + S_0)$
$K_{12} = M_{10} / P_0$	$K_{26} = (M_1 + M_2 + M_3 + M_4) / (P_0 + S_0)$
$K_{13} = M_{11} / P_0$	$K_{27} = ((M_1 + M_2 + M_3 + M_4) \cdot M_{10}) / (P_0 \cdot S_0)$
$K_{14} = L_{\text{общ.лин.}} / L_{\text{конт.}}$	$K_{28} = ((M_1 + M_2 + M_3 + M_4) \cdot M_{11}) / (P_0 \cdot S_0)$

Таблица 2. Число эталонных БРП для распознавания каждого класса ОТПО.

Класс ОТПО	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Число БРП	33	39	39	46	43	48	28	29	6	46

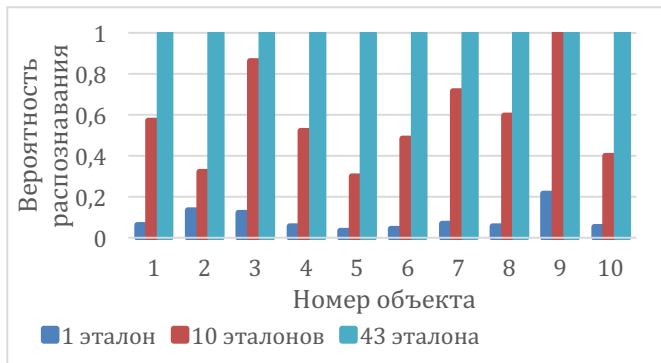


Рис.3 – График зависимости вероятностей распознавания объектов каждого класса ОТПО от числа эталонов.

Результаты распознавания приведены в таблице 3 и рис.3.

Таблица 3. Количество эталонных БРП, использованных для распознавания каждого класса ОТПО при экзамене.

Класс ОТПО	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Число БРП	24	37	14	25	43	27	20	22	7	36

Результаты экзаменов показали, что для распознавания всех 2000 объектов любого из 10 классов ОТПО требуется не более 43 эталонов при среднем времени 52 мс/объект.

$$СКО(i) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (R_{ij} - R_{i_{cp}})^2} \quad (15)$$

где R – вектор БРП;
 $R_{i_{cp}}$ – среднее значение i-го БРП.

Для обеспечения инвариантности алгоритма распознавания к изменению масштаба на $\pm 10\%$, ориентации и месторасположения изображения ОТПО на рабочем поле и минимизации количества эталонов, выполнены экспериментальные исследования по оценке стабильности и информативности БРП при указанных выше преобразованиях изображений объектов. Стабильность признака при изменении масштаба и ориентации изображения ОТПО оценивалось формулой (15).

Результаты исследований приведены на рис.4 и 5.



Рис.4 – Среднеквадратичные отклонения признаков при изменении масштаба.



Рис.5 – График среднеквадратичных отклонений признаков при вращении изображений и изменении местоположения

Нестабильными к изменению масштаба и вращению изображения являются признаки K_{10} - K_{16} и K_{21} - K_{23} .

Проведено исследование по оценке информативности признаков, путем исключения признака в процессе распознавания ОТПО. Результаты исследований приведены на рис.6.

По результатам исследований на стабильность и информативность из общего количества 28 БРП выбраны 18 (в таблице 1 выделены цветом) наиболее стабильных и информативных БРП.

Результат распознавания 20000 ОТПО с использованием 18 БРП приведен на рис.7.

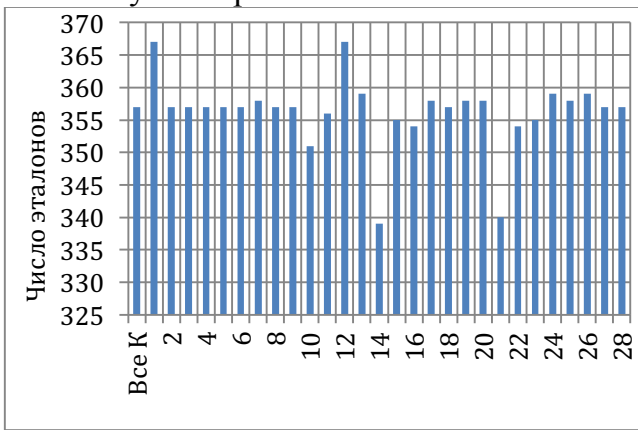


Рис.6 – График зависимости числа эталонов для полного распознавания от конкретного типа исключаемого БРП.

Таким образом, использование стабильных и информативных БРП позволяет обеспечить распознавание всей тестовой выборки при среднем времени 51 мс/объект и максимальном числе эталонов не более 36.

Проведен сравнительный анализ наиболее распространённых 4х алгоритмов построения выпуклых оболочек на бинарных изображениях ОТПО. Результаты исследования представлены на рис.8.

Алгоритм QuickHull является самым быстродействующим для дальнейшего использования.

Метод формирования безразмерных признаков по выпуклой оболочке бинарного изображения плоского объекта реализуется следующим образом:

1) определяется площадь бинарного изображения – S_0 ;

2) выделяется контур бинарного изображения и определяется количество точек, образующих контур – P_0 ;

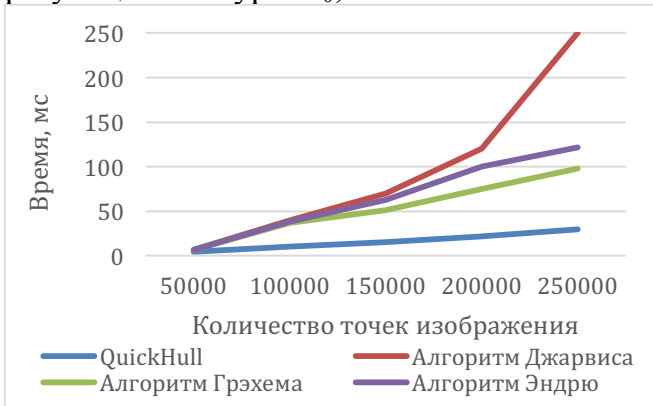


Рис.8 – Зависимость времени работы алгоритмов построения выпуклых оболочек от количества точек в ОТПО

7) определяется разность площадей бинарного изображения и его выпуклой формы

$$S_{\text{разн.}} = |S_{\text{вып.}} - S_0| \quad (18)$$

8) далее определение параметров выпуклой оболочки осуществляется аналогично определению параметров контура.

Сформированные безразмерные признаки по выпуклой оболочке приведены в таблице 4.

Было осуществлено распознавание 20000 ОТПО набором 49 БРП по выпуклым оболочкам. Результаты исследований при обучении приведены в таблице 5 и на рис.9.

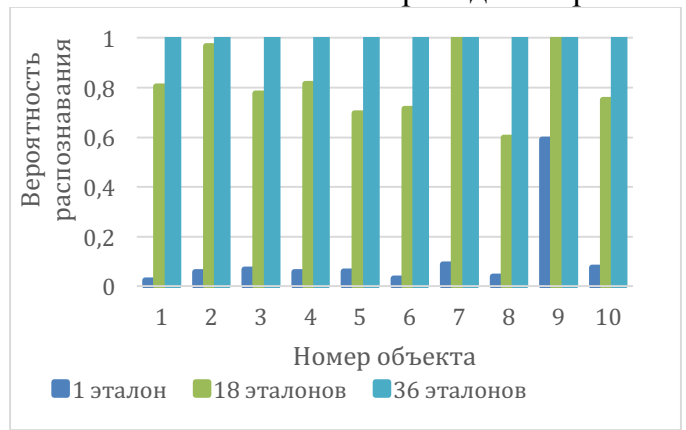


Рис.7 – График зависимости вероятностей распознавания от числа эталонов.

3) строится выпуклая оболочка бинарного изображения ОТПО и вычисляется количество точек, образующих выпуклую оболочку – $P_{\text{вып.}}$;

4) определяется площадь объекта внутри выпуклой оболочки – $S_{\text{вн.}}$;

5) вычисляется площадь выпуклой формы ОТПО

$$S_{\text{вып.}} = S_{\text{вн.}} + P_{\text{вып.}} \quad (16)$$

6) определяется разность между количеством точек контура и выпуклой оболочки

$$P_{\text{разн.}} = |P_0 - P_{\text{вып.}}| \quad (17)$$

Таким образом, чтобы полностью распознать 2000 объектов каждого из 10 классов ОТПО требуется максимум 69 эталонов по БРП выпуклых оболочек ОТПО. Среднее время распознавания составило 64 мс/объект.

Таблица 4. Безразмерные признаки по выпуклой оболочке

$K_1 = S_0 / S_{\text{вып}}$	$K_{18} = M_1 / P_{\text{вып}}$	$K_{35} = M_1 / (M_1 + M_3 + M_4)$
$K_2 = P_0 / S_{\text{вып}}$	$K_{19} = M_3 / P_{\text{вып}}$	$K_{36} = M_3 / (M_1 + M_3 + M_4)$
$K_3 = S_{\text{разн}} / S_{\text{вып}}$	$K_{20} = M_4 / P_{\text{вып}}$	$K_{37} = M_4 / (M_1 + M_3 + M_4)$
$K_4 = P_{\text{вып}} / S_{\text{вып}}$	$K_{21} = M_{10} / P_{\text{вып}}$	$K_{38} = L_{\text{лин.}} / (L_{\text{лин.}} + L_{\text{вып.}} + L_{\text{вог.}})$
$K_5 = M_1 / S_{\text{вып}}$	$K_{22} = M_{11} / P_{\text{вып}}$	$K_{39} = L_{\text{вып.}} / (L_{\text{лин.}} + L_{\text{вып.}} + L_{\text{вог.}})$
$K_6 = M_3 / S_{\text{вып}}$	$K_{23} = M_1 / P_0$	$K_{40} = L_{\text{вог.}} / (L_{\text{лин.}} + L_{\text{вып.}} + L_{\text{вог.}})$
$K_7 = M_4 / S_{\text{вып}}$	$K_{24} = M_3 / P_0$	$K_{41} = (M_1 + M_3 + M_4) / (P_{\text{вып}} + S_{\text{вып}} + M_{10} + M_{11})$
$K_8 = M_{10} / S_{\text{вып}}$	$K_{25} = M_4 / P_0$	$K_{42} = (M_{10} + M_{11}) / (P_{\text{вып}} + S_{\text{вып}})$
$K_9 = M_{11} / S_{\text{вып}}$	$K_{26} = M_{10} / P_0$	$K_{43} = (M_1 + M_3 + M_4) / (P_{\text{вып}} + S_{\text{вып}})$
$K_{10} = S_{\text{разн}} / S_0$	$K_{27} = M_{11} / P_0$	$K_{44} = ((M_1 + M_3 + M_4) \cdot M_{10}) / (P_{\text{вып}} \cdot S_{\text{вып}})$
$K_{11} = P_{\text{вып}} / S_0$	$K_{28} = L_{\text{конт.вып}} / L_{\text{конт}}$	$K_{45} = ((M_1 + M_3 + M_4) \cdot M_{11}) / (P_{\text{вып}} \cdot S_{\text{вып}})$
$K_{12} = M_1 / S_0$	$K_{29} = L_{\text{вып.}} / L_{\text{конт.вып}}$	$K_{46} = (M_1 \cdot M_3 \cdot M_4) / ((M_{10} + M_{11}) \cdot P_{\text{вып}})$
$K_{13} = M_3 / S_0$	$K_{30} = L_{\text{вог.}} / L_{\text{конт.вып}}$	$K_{47} = P_{\text{вып}} / L_{\text{конт.вып}}$
$K_{14} = M_4 / S_0$	$K_{31} = L_{\text{лин.}} / L_{\text{конт.вып}}$	$K_{48} = P_{\text{разн}} / P_{\text{вып}}$
$K_{15} = M_{10} / S_0$	$K_{32} = L_{\text{вып.}} / L_{\text{конт}}$	$K_{49} = P_{\text{разн}} / P_0$
$K_{16} = M_{11} / S_0$	$K_{33} = L_{\text{вог.}} / L_{\text{конт}}$	
$K_{17} = P_{\text{вып}} / P_0$	$K_{34} = L_{\text{лин.}} / L_{\text{конт}}$	

Таблица 5. Количество эталонных БРП для каждого из 10 классов ОТПО при обучении

Класс ОТПО	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Число БРП	20	69	48	55	19	10	19	56	21	40

Результаты исследований на этапе экзамена приведены в таблице 6 и на рис.10.

Таблица 6. Количество эталонных БРП, использованных при экзамене

Класс ОТПО	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Число БРП	6	22	13	20	7	3	3	9	8	8

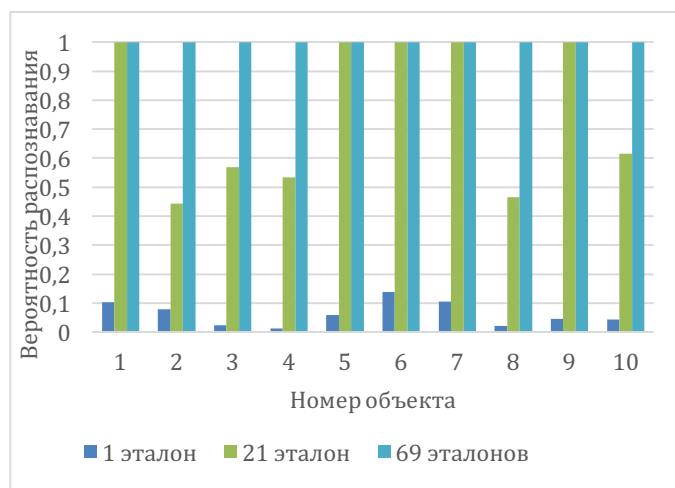


Рис.9 – Графики зависимости вероятностей распознавания объектов при обучении от числа эталонов

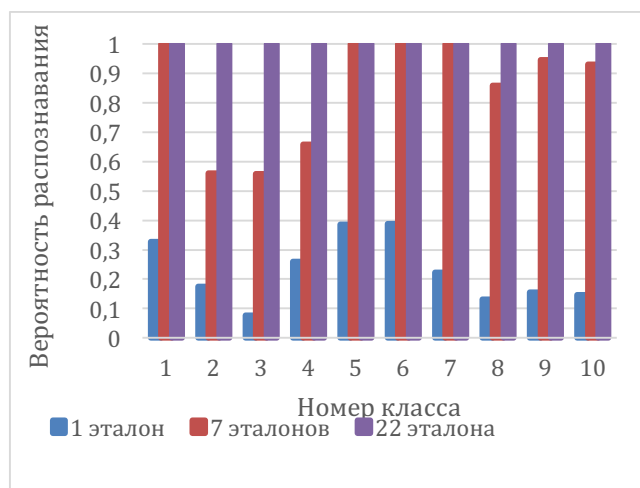


Рис.10 – Графики зависимости вероятностей распознавания ОТПО от числа эталонов при экзамене

Таким образом, при экзамене максимальное количество эталонов, обеспечивающее 100 процентное распознавание 2000 объектов любого из 10 классов ОТПО составляет не более 22.

Были проведены исследования по оценке стабильности БРП по выпуклой оболочке к изменению масштаба и ориентации ОТПО на рабочем поле, а также исследовалась ин-

формативность этих признаков. В результате из 49 БРП были отобраны наиболее стабильные и информативные 29 признаков (в таблице 4 выделены цветом). Среднее время распознавания составило 60 мс/объект.

Было проведено распознавание 20000 ОТПО с использованием 29 стабильных и информативных БРП по выпуклым оболочкам. Результаты исследований приведены в таблице 7 и на рис.11.

Таблица 7. Количество стабильных эталонных БРП использованных при экзамене

Класс ОТПО	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Число БРП	1	4	1	4	3	1	1	1	3	2

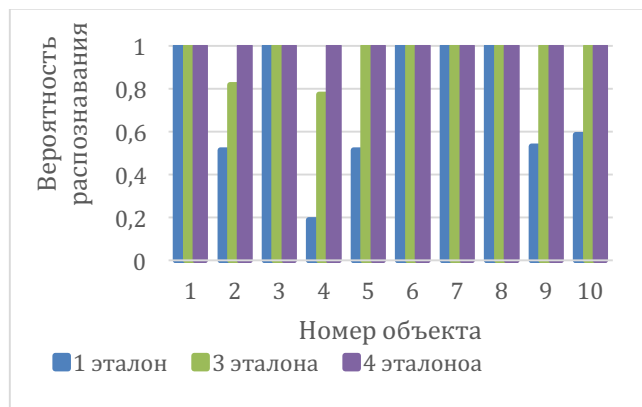


Рис.11 – Графики зависимости вероятностей распознавания ОТПО от числа стабильных эталонов



Вариант класса 1+3



Вариант класса 2+9

Рис.12 – Примеры изображений НТПО

Используя 20000 ОТПО 10 классов объектов программно формируется 55 классов НТПО (рис.12) по 2000 объектов (всего 110000 НТПО). Распознавание проводилось с использованием БРП по выпуклым оболочкам НТПО. На этапе обучения из 2000 наложенных объектов формировались эталоны, обеспечивающие их полное распознавание. На этапе экзамена вектор-признаков каждого НТПО из 110000 сравнивался со всеми эталонными признаками, выбранными при обучении. Сравнение вектора-признаков входного и эталонов осуществляется согласно формуле (19).

$$D_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (K_j - K_{kl})^2 \quad (19)$$

где n – число признаков; l – номер распознаваемого объекта ($l = 1, 2, \dots, 110000$); K_j – значение j -го признака вектора коэффициентов « K » выбранного эталона; K_{jl} – значение j -го признака вектора коэффициентов K выбранной реализации.

Для распознавания отдельных объектов в НТПО интегральные признаки, какими являются БРП, не могут быть использованы. Поэтому следует ориентироваться на алгоритм распознавания, использующий локальные признаки объекта, например его контура. В работе распознавание отдельных объектов в НТПО осуществлено с использованием цепных кодов контуров отдельного и наложенного объектов.

Таким образом, для полного распознавания массива 2000 ОТПО любого класса с помощью БРП по выпуклой оболочке, требуется не более 4 эталонов при среднем времени 56 мс/объект.

Глава 3 посвящена разработке и исследованию алгоритма распознавания наложенных тестовых плоских объектов (НТПО) и отдельных плоских объектов в НТПО.

Среди всех СКО D_i ищется минимальное значение $D_{\min} = \min \{D_i\}$. Результаты распознавания всех объектов 55 классов НТПО приведены на рис.13, а временные затраты – на рис.14.

Таким образом, для полного распознавания всех 110000 НТПО 55 классов, требуется максимум не более 970 эталонов. при среднем времени 1050 мс/объект.

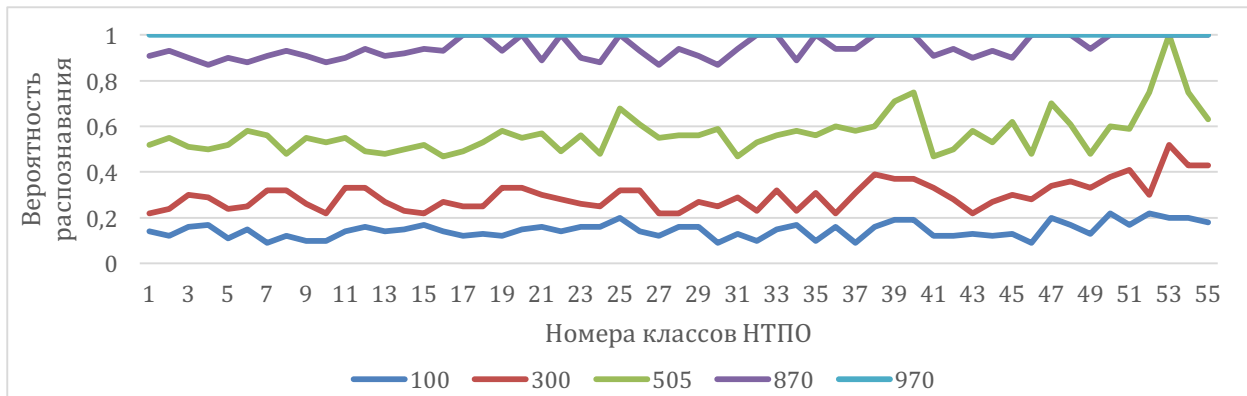


Рис.13 – Зависимость вероятностей распознавания класса НТПО от количества эталонов

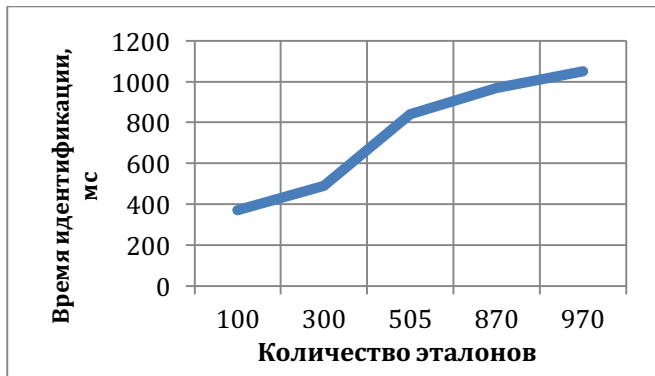


Рис.14 – График зависимости времени идентификации НТПО от количества эталонов

Алгоритм распознавания отдельных объектов в наложенном с использованием цепных кодов контуров ОТПО и НТПО состоит в следующем.

Функция цепного кода НТПО, класс которого установлен, сравнивается со всеми эталонными K_3 -функциями двух ОТПО, образующих данный НТПО. В данном случае это будут эталонные K_3 -функции ОТПО 1 и ОТПО 2, по формулам (21).

Аналогичное сравнение всех K -функций второго ОТПО выполняется с K_3 -функцией найденного НТПО.

На следующем шаге производится выделение границ двух распознанных ОТПО в НТПО. По формулам (20-22) выбираются два минимальных значения δ , запоминаются цепные коды и сдвиги, которые позволили получить минимальную δ . Затем производится сдвиг сохраненного цепного кода на указанное значение и вычитается это значение из цепного кода НТПО. Участки, давшие значение 0, окрашиваются в цвет соответствующего ОТПО. Аналогичные действия проводятся для второго цепного кода.

Значение m определяется как:

$$m = 2(P - N), \quad (21)$$

где N – число точек контура эталонного ОТПО; P – число точек контура сложного объекта НТПО.

Решение об идентификации принимается на основе выражения (22).

$$\min \delta = \min_{i=1,q} \{\delta_i\}, \quad (22)$$

где q – число эталонов.

Результаты распознавания всех ОТПО 10 классов в 110000 НТПО приведены в таблице 8. Среднее время определения двух ОТПО в одном НТПО – 820 мс.

В главе 4 сформулированы основные требования к разрабатываемой системе распознавания отдельных и наложенных плоских объектов, дан перечень технических и программных средств системы. Разработан и исследован алгоритм определения типов объектов в поле зрения системы.

$$\delta_1 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k |K_{\varepsilon i} - K_{cli}|$$

$$\delta_2 = \frac{1}{k} \sum_{i=2}^{k-1} |K_{\varepsilon i} - K_{cli}| \quad (20)$$

$$\dots$$

$$\delta_m = \frac{1}{k} \sum_{i=m}^{k-m} |K_{\varepsilon i} - K_{cli}|$$

где $K_{\varepsilon i}$ – значения элементов K_3 -функции эталонного ОТПО ($i=1, 2, \dots, N$); K_{cli} – значения элементов K_3 -функции эталонного сложного объекта НТПО ($i=1, 2, \dots, P$); m – число смещений K_3 -функции эталонного ОТПО $K_{\varepsilon j}$ для полного обхода контура сложного объекта НТПО; k – длина контура.

Проведено экспериментальное исследование по распознаванию реальных отдельных и наложенных плоских объектов на системе.

Макет системы состоит из видеокарты Intel HD4000; видеодатчика USB камеры SJCAM SJ6; персонального компьютера с процессором Intel Core i5 2,6 ГГц, жесткий диск 500 Гбайт, RAM Samsung DDR3 1600 4 Гбайт, принтер Canon LBP-3010, монитор Philips 202E.

В состав комплекса программ системы входят наборы программ: предварительной обработки изображений; формирования исходных признаков изображений контуров и выпуклых оболочек; распознавания ОТПО, НТПО, ОРПО и НРПО; распознавания типов объектов в поле зрения системы, а также расчетов и статистики.

Алгоритм распознавания типов объектов в поле зрения системы анализирует следующие ситуации на поле: 1) пустое поле – в кадре не ни одного объекта и помех; 2) в кадре есть помехи; 3) в кадре есть отдельный объект; 4) в кадре два отдельных объекта; 5) в кадре наложенный объект.

Для определения типа поля на основе результатов маркировки, подсчета площадей бинарного изображения и выпуклой формы объектов сформированы условия отнесения модулями 1-5 текущего поля зрения к той или иной ситуации.

Таблица 8. Число эталонных функций цепных кодов необходимых для полного распознавания каждого ОТПО из исходных 10 в НТПО

ОТПО	Число эталонов
1	280
2	291
3	292
4	275
5	283
6	275
7	284
8	290
9	285
10	278

При маркировке входного поля получены значения количества k объектов в поле.

1. Для обнаружения *пустого поля* проверяется условие:

$$\begin{cases} \text{если } k = 0, & \text{то пустое поле} \\ \text{иначе,} & \text{поле содержит объекты или помехи} \end{cases} \quad (23)$$

где k – количество объектов, определенных с помощью алгоритма разметки.

Обозначим площади эталонных объектов как $S_{o1}, S_{o2}, \dots, S_{on}$, а обнаруженных объектов как $S_{oi}, S_{o2}, \dots, S_{ok}$. Количество обнаруженных объектов как k .

2. *Все помехи* отсеиваются по площади на основе следующих условий:

$$(k \neq 0) \wedge (S_{oi} < R_n), \quad (24)$$

где R_n – разность между минимальной площадью эталонного объекта и порога по площади R_{so} . Определяется по формуле:

$$R_n = \min_{i=1, N} S_{oi} - R_{so}, \quad (25)$$

где R_{so} – порог, который определяется на большой выборке ситуаций отдельных и наложенных объектов.

Пусть размер выборки равен M . Тогда для каждого i -го объекта из выборки рассчитываются отклонения по площади q_s по формуле:

$$q_s = \min_{i=1, M} |S_{oi} - S_{aj}|, \quad (26)$$

где $i = 1, \dots, M$ – количество объектов в выборке; $j = 1, \dots, N$ – количество эталонных объектов

3. Решение о том, что обнаруженный объект является *отдельным*, принимается при выполнении условия:

$$(k = 1) \wedge (S_{oi} > R_n) \wedge (q_s < R_{so}) \wedge (q_m < R_{mo}), \quad (27)$$

где R_{mo} – порог по моментам, вычисляется аналогично порогу по площади.

4. Условие наличия на рабочем поле *2-х отдельных* объектов имеет такой вид:

$$(k = 2) \wedge (S_{oi} > R_n) \wedge (q_s > R_{so}) \wedge (q_m > R_{mo}). \quad (28)$$

5. Наличие на рабочем поле *наложенных* объектов определяются следующими условиями:

$$(k = 1) \wedge (S_{oi} > R_n) \wedge (q_s > R_{so}) \wedge (q_m < R_{mo}). \quad (29)$$

Таким образом алгоритм определения типов объектов в поле зрения системы должен реализовать следующие условия:

$$\begin{cases} \text{ситуация 1,} & \text{если } k = 0 \\ \text{ситуация 2,} & \text{если } (k \neq 0) \wedge (S_{oi} < R_n) \\ \text{ситуация 3,} & \text{если } (k = 1) \wedge (S_{oi} > R_n) \wedge (q_s < R_{so}) \wedge (q_m < R_{mo}) \\ \text{ситуация 4,} & \text{если } (k = 2) \wedge (S_{oi} > R_n) \wedge (q_s > R_{so}) \wedge (q_m > R_{mo}) \\ \text{ситуация 5,} & \text{если } (k = 1) \wedge (S_{oi} > R_n) \wedge (q_s > R_{so}) \wedge (q_m < R_{mo}) \end{cases} \quad (30)$$

Исследования данного алгоритма показали, что он обеспечивает ошибку $3 \cdot 10^{-4}$ и время 12 мс для определения типа поля.

Исследование алгоритма распознавания на ОРПО (рис.15) на 20000 объектах при обучении приведены на рис.16.

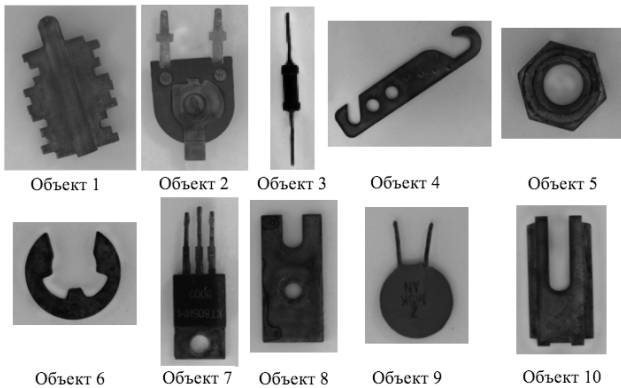


Рис.15 – Изображения реальных объектов

Таким образом, для правильного распознавания любого из 2000 объектов каждого из 10 классов ОРПО при обучении требуется не более 38 эталонов.

Результаты исследований алгоритма распознавания ОРПО 20000 объектов при экзамене приведены на рис.17.

Экспериментальные исследования показывают, что для распознавания любого из 20000 ОРПО требуется не более 55 эталонов. Ошибка распознавания составляет 10^{-3} , среднее время – 56 мс/объект.

Результаты исследований алгоритма распознавания классов НРПО (рис.18) 110000 объектов приведены на рис.19.

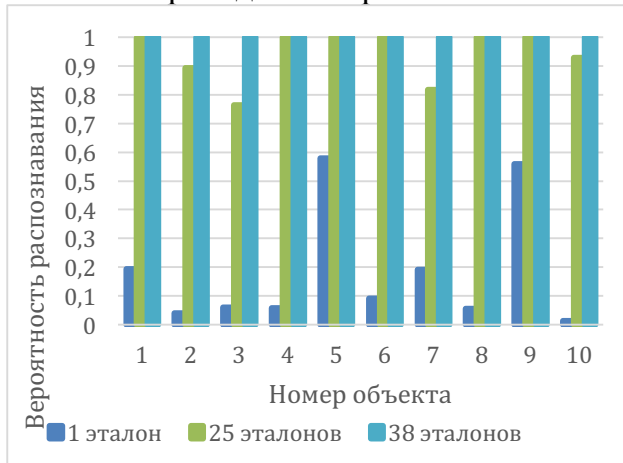


Рис.16 – Графики зависимости вероятности распознавания ОРПО от числа эталонов при обучении.

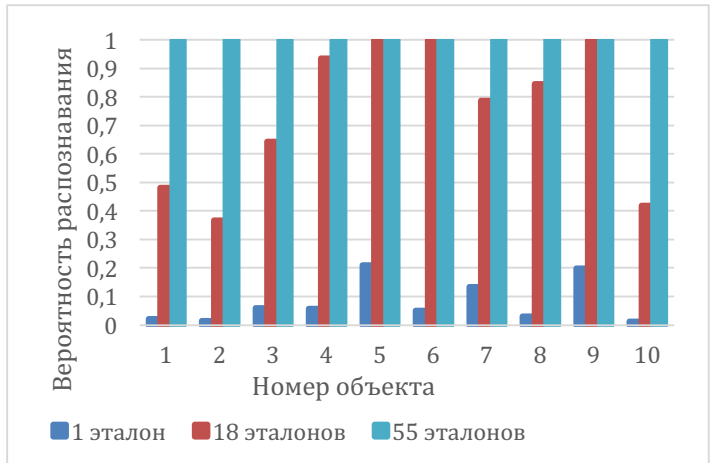


Рис.17 – Графики зависимости вероятности распознавания ОРПО от числа эталонов при экзамене



Рис.18 – Примеры классов НРПО

Таким образом, для распознавания класса любого из 110000 НРПО требуется не более 967 эталонов. Ошибка распознавания составляет 10^{-3} , среднее время – 1180 мс/объект.

Исследования алгоритма распознавания отдельных реальных объектов в НРПО с использованием цепных кодов контуров их бинарных изображений показали, что любой ОРПО в любом из 110000 НРПО можно распознать используя не более 283 эталона.

Среднее время распознавания любого типа объекта на входе системы, отдельного или наложенного, составляет 554 мс/объект с ошибкой 10^{-3} .

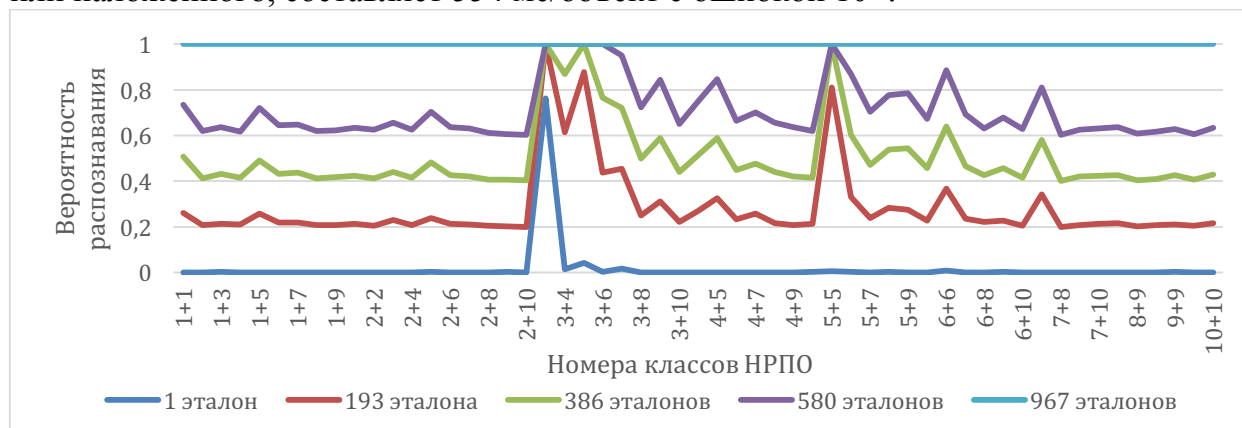


Рис.19 – Зависимость вероятности распознавания класса НРПО от количества эталонов

В приложениях приведены изображения тестовых и реальных плоских объектов, использованных в экспериментальных исследованиях; таблицы безразмерных признаков; графики стабильности при вращении и масштабе; копия патента на полезную модель; акты, подтверждающие использование результатов работы на промышленном предприятии и в учебном процессе.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Осуществлен анализ состояния проблемы механизации и автоматизации сборочных работ в промышленности и установлено, что:

- процессы сортировки и сборки деталей и изделий на промышленных предприятиях, в основном, выполняются пока с использованием ручного труда;
- используемые в промышленности сборочные комплексы с СТЗ чаще всего работают с бинарными изображениями фиксированных объектов и при этом основным источником для распознавания являются признаки их формы и параметры внешних контуров;
- выпуклые оболочки бинарных изображений объектов и их характеристики не используются в СТЗ;
- система распознавания произвольно расположенных в поле зрения СТЗ деталей и изделий при изменении масштаба их изображений пока не создана.

2. Разработан и исследован метод формирования безразмерных признаков отдельных и наложенных плоских объектов на основе контуров и выпуклых оболочек их бинарных изображений. Использование БРП позволяет решить вопрос распознавания произвольно расположенных плоских объектов при изменении масштаба их изображений. Сформированы 28 БРП по контурам и 49 БРП по выпуклым оболочкам.

3. Из исходных 28 БРП по контуру и 49 БРП по выпуклой оболочке отобраны стабильные и информативные 18 БРП по контуру и 29 БРП по выпуклой оболочке, которые инвариантны изменению масштаба $\pm 10\%$, вращению $\pm 180^\circ$ и перемещению изображений объектов в поле зрения системы.

4. Разработаны и исследованы алгоритмы, обеспечивающие распознавание отдельных плоских объектов по их безразмерным признакам с ошибкой 10^{-3} и менее, при среднем времени 56 мс/объект.

5. Разработан и исследован алгоритм распознавания класса наложенных объектов по БРП выпуклых оболочек, обеспечивающий ошибку 10^{-3} и менее, среднее время 1180 мс/объект.

6. Доказано, что использование выпуклых оболочек бинарных изображений и безразмерных признаков на их основе для распознавания отдельных и наложенных плоских объектов позволяет ускорить и повысить точность процесса распознавания чем при применении безразмерных признаков контуров тех же изображений.

7. Разработан и исследован алгоритм распознавания отдельных объектов в наложенном по цепным кодам контуров объектов с ошибкой 10^{-3} и менее.

8. Разработан и исследован алгоритм определения типа поля зрения системы с ошибкой $3 \cdot 10^{-4}$ и среднем временем 12 мс.

9. Решен вопрос распознавания с высокой точностью отдельных и наложенных деталей и изделий, произвольно расположенных в поле зрения СТЗ сборочного робота при некотором изменении масштаба их изображений.

10. Создана экспериментальная система, являющаяся основой для создания сборочного автомата с широкими функциями. На системе проведены научные исследования и решены некоторые практические задачи по автоматическому распознаванию отдельных и наложенных реальных плоских деталей и изделий с ошибкой 10^{-3} и менее, среднем временем 554 мс/объект.

11. Результаты работы внедрены на промышленном предприятии АО «Производственное объединение Муромский Машиностроительный завод» и в учебном процесс кафедры САПР МИ ВлГУ.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Научные статьи, опубликованные в изданиях из перечня ВАК

1. Садыков, С.С. Распознавание отдельных тестовых и реальных плоских объектов по безразмерным признакам контуров их бинарных изображений [Текст] / С.С. Садыков, Я.Ю. Кульков // Информационные технологии. – 2016. № 10 (том 22). – С. 747 – 753

2. Садыков, С.С. Идентификация отдельных тестовых и реальных плоских объектов по безразмерным признакам контуров их двухградационных изображений [Текст] / С.С. Садыков, Я.Ю. Кульков // Вестник РГРТУ. – 2016. № 56. – С.136-143

3. Садыков, С.С. Распознавание наложенных реальных плоских объектов по безразмерным признакам их контуров / С.С. Садыков, Я.Ю. Кульков [Текст] // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2016. №4. – С.10-20

4. Садыков, С.С. Распознавание отдельных тестовых и реальных плоских объектов по безразмерным признакам контуров их бинарных изображений методом дискриминантного анализа Фишера [Текст] / С.С. Садыков, Я.Ю. Кульков // Динамика сложных систем – XXI век. – 2016. №3. – С.20-24

5. Садыков, С.С. Распознавание отдельных тестовых и реальных плоских объектов на основе безразмерных признаков выпуклых оболочек [Текст] / С.С. Садыков, Я.Ю. Кульков // Телекоммуникации. – 2017. №3.

6. Садыков, С.С. Оценка возможности распознавания отдельных реальных плоских объектов на основе их безразмерных контурных признаков [Текст] / С.С. Садыков, Я.Ю. Кульков // Надежность и качество сложных систем. – 2015. – № 4 (12). – С. 101–109.

7. Садыков, С.С. Исследование алгоритма распознавания отдельных реальных плоских объектов на основе их безразмерных контурных признаков [Электронный ресурс] / С.С. Садыков, Я.Ю. Кульков // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 1 (часть 1). Режим доступа: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=39793>.

8. Кульков, Я.Ю. Распознавание отдельных реальных плоских объектов на основе безразмерных признаков выпуклых оболочек их бинарных изображений [Текст] / Я.Ю. Кульков // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2016. – №1 (21). – С.67-75.

Публикации, входящие реферативную базу Scopus

9. Sadykov, S.S. A Study of the Identification Method for the Test Flat Objects Based on Dimensionless Signs of their Contours [Text] / S.S. Sadykov, Y.Y. Kulkov // Procedia Engineering. 2015. Vol.129. PP. 385-390.

10. Sadykov, S.S. Recognition of Separate Flat Objects Based on Dimensionless Signs of Their Contours by Linear Discriminant Analysis [Text] / S.S. Sadykov, Y.Y. Kulkov // Procedia Computer Science. 2017. Vol.103. PP.248-252.

11. Sadykov, S.S. Recognition of Flat Objects Based on Dimensionless Marks Based of Their Contours [Text] / S.S. Sadykov, Y.Y. Kulkov // CEUR Workshop Proceedings. 2017. Vol.1940. PP.68-73.

патент на полезную модель

12. Патент на полезную модель №173131. Устройство идентификации плоских объектов по безразмерным признакам их контуров / Садыков С.С., Кульков Я.Ю.; зарег. в Государственном реестре полезных моделей РФ 14.08.2017, Бюл.№23

Публикации в других изданиях

13. Садыков, С.С. Экспериментальное исследование алгоритма распознавания отдельных тестовых плоских объектов на основе их безразмерных контурных признаков [Текст] / С.С. Садыков, Я.Ю. Кульков // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2015. № 3 (32). – С.76-90.

14. Садыков, С.С. Распознавание отдельных тестовых плоских объектов на основе безразмерных признаков выпуклых оболочек их бинарных изображений [Текст] / С.С. Садыков, Я.Ю. Кульков // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2015. № 4 (33). – С.114-131.

15. Садыков, С.С. Распознавание отдельных плоских объектов по безразмерным признакам выпуклых оболочек их бинарных изображений методом линейного дискриминантного анализа [Текст] / С.С. Садыков, Я.Ю. Кульков // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2016. – С.135-137.

16. Садыков, С.С. Распознавание отдельных тестовых и реальных плоских объектов на основе безразмерных признаков выпуклых оболочек их бинарных изображений методом дискриминантного анализа Фишера [Текст] / С.С. Садыков, Я.Ю. Кульков // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2016. – С.137-140.

17. Садыков, С.С. Распознавание отдельных плоских объектов на основе безразмерных признаков их выпуклых оболочек [Текст] / С.С. Садыков, Я.Ю. Кульков // Динамика систем, механизмов и машин. – 2016. №1. Том 2. – С.126-128.

18. Садыков, С.С. Исследование возможности распознавания тестовых и реальных объектов алгоритмом k-средних на основе безразмерных признаков контуров и выпуклых оболочек [Текст] / С.С. Садыков, Я.Ю. Кульков // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. – 2016. – № 1 (34). – С.24-34.

19. Садыков, С.С. Исследование алгоритма определения типов объектов в поле зрения системы распознавания [Текст] / С.С. Садыков, Я.Ю. Кульков, М.Ю. Гоштаутас // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. – 2016. – № 1 (34). – С.34-52.

20. Садыков, С.С. Исследование алгоритма распознавания отдельных плоских объектов в наложенном состоянии на основе цепных кодов [Текст] / С.С. Садыков, Я.Ю. Кульков, С.А. Романов, А.С. Корсаков // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. – 2016. – № 1 (34). – С.52-69.

21. Садыков, С.С. Исследование распознавания наложенных тестовых плоских объектов по безразмерным признакам их выпуклых оболочек [Текст] / С.С. Садыков, Я.Ю. Кульков // Южно-Сибирский научный вестник. – 2016. №4(16). – С.29-34.

22. Садыков, С.С. Экспериментальное исследование возможности идентификации отдельных плоских объектов на основе безразмерных признаков выпуклых оболочек их бинарных изображений [Текст] / С.С. Садыков, Я.Ю. Кульков // Наука и образование в развитии промышленной, социальной и экономической сфер регионов России. VIII Всероссийские научные Зворыкинские чтения: сб. тез. докл. Всероссийской межвузовской научной конференции. – Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ. – 2016 г. – С.233-236.

23. Садыков, С.С. Исследование алгоритма идентификации отдельных плоских объектов по безразмерным признакам их контуров [Текст] / С.С. Садыков, Я.Ю. Кульков // Наука и образование в развитии промышленной, социальной и экономической сфер регионов России. VIII Всероссийские научные Зворыкинские чтения: сб. тез. докл. Всероссийской межвузовской научной конференции. – Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ. – 2016 г. – С.237-238.

24. Садыков, С.С. Распознавание плоских объектов на основе безразмерных признаков выпуклых оболочек [Текст] / С.С. Садыков, Я.Ю. Кульков // Современное состояние и перспективы применения информационных технологий в управлении: Доклады Республиканской научно-технической конференции. / Центр разработки программных продуктов и аппаратно-программных комплексов при ТУИТ; Джизакский политехнический институт. – Ташкент, 2016. – С.467 – 474.

25. Sadykov, S.S. Research of recognition of the imposed flat objects on dimensionless marks of their contours [Text] / S.S. Sadykov, Y.Yu. Kulkov // Pattern Recognition and Information Processing: Proc. of 13th Intern. Conf. / ed.: S. Ablameyko, V. Krasnoproshin. – Minsk: Publ. Center of BSU. – 2016. – PP.205-208.

26. Садыков, С.С. Исследование возможности распознавания плоских объектов, используя безразмерные признаки выпуклых оболочек их двухградационных изображений [Текст] / С.С. Садыков, Я.Ю. Кульков // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». – 2017. – С.79-79.

27. Садыков, С.С. Экспериментальное исследование возможности распознавания отдельных плоских объектов на основе безразмерных признаков методом дискриминантного анализа Фишера [Текст] / С.С. Садыков, Я.Ю. Кульков // Вузовская наука - региону: материалы XV научной конференции с международным участием. – Вологда: ВоГУ. – 2017. – С.100-102.

Подписано в печать __. __.2018. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Печать офсетная. Усл. Печ. Л. 1,0. Тираж 120 экз. Заказ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
603950, Нижний Новгород, ул. Минина, 24