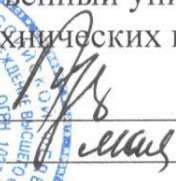


УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе  
ФГБОУ ВО «Тульский  
государственный университет»,  
доктор технических наук, профессор



  
В.Д. Кухарь  
2017 г.

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Исхакова Алмаза Раилевича «Методы математического моделирования обработки и анализа изображений в модифицированных дескриптивных алгебрах изображений», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

**Актуальность темы.** Системы технического зрения относятся к классу бесконтактных информационно-измерительных систем и разрабатываются для различных нужд образования, промышленности, общественной и технической безопасности, дистанционного зондирования Земли и экологической безопасности, технического контроля и управления и т.п. Современные решения не лишены недостатков. В случае с системами технического зрения к числу таких недостатков можно отнести: сильное влияние освещенности сцены наблюдения на качество измерения, узкую специализацию прикладных решений, плохую унифицированность электронных компонентов, недостаточную разработанность аппарата математического моделирования обработки, анализа и распознавания изображений в системах технического и компьютерного зрения и т.д. Разрешение каждой из этих проблем является актуальной.

**Достоверность и новизна научных результатов.** Диссертационная работа А.Р. Исхакова посвящена аналитическому и численному исследованию обработки и анализа изображений в системах технического зрения и их математическому моделированию. На основе исследований положен алгебраический подход к обработке, анализу, распознаванию и пониманию изображений и существующие теории дескриптивных алгебр изображений и дескриптивных алгебр изображений с одним кольцом. В материалах диссертационной работы также использованы различные методы, технологии и подходы из теории распознавания образов, теории конечных автоматов, цифровой обработки изображений, искусственного интеллекта, теории графов численных методов, комбинаторики.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 152 наименований и 1 приложения. Общий объем составляет 164 страницы. Главы диссертации представляют взаимосвязанные и логически законченные части, объединенные единым замыслом работы, подходом и методами исследований.

Во *введении* обосновывается актуальность темы исследования, определяется цель работы и формулируются задачи для ее достижения, дается обзор научных работ по теме исследований.

В *первой главе* проведен обзор научных работ и инженерных разработок в области систем технического зрения и цифровой обработки изображений. Рассмотрена архитектура систем технического зрения советского периода, принципы их разработки, актуальные задачи того времени. Детально изучен алгебраический подход и теория дескриптивных алгебр изображений. Важным моментом исследований первой главы являются требования к будущим результатам диссертационной работы, сформулированные ее автором на основании рассмотренных научных работ.

*Вторая глава* посвящена обоснованию необходимости использования и определению базовых элементов разрабатываемой теории. В рамках главы введены такие понятия, как: реализации изображения для бинарных, полутоновых и цветных форматов, тернарное представление реализации изображения, семантической и контекстной информации об изображении, множества исходных данных в виде совокупности реализаций изображений и семантической и контекстной информации о ней, фигуры в реализации изображения, дескриптивной модели изображения. Все базовые элементы имеют формальное описание, что позволяет проводить над ними математические операции. Контекстная информация об изображении представляет матрицу фигур, зависящих от углов Эйлера объекта наблюдения. Такой подход позволяет учитывать внешние факторы и математические модели камеры наблюдения на формируемое изображение.

Во второй главе также исследованы методы цифровой обработки изображений: конвертирования изображений, улучшения зрительных характеристик, препарирования изображений, морфологической обработки, методы вычисления статистических и структурных признаков. Перечисленные методы разделены на процедурные и параметрические классы в соответствии с теорией дескриптивных алгебр изображений. Глава закрывается определением дескриптивных алгебраических схем преобразования изображений (Т-ДАСПИ и Р-ДАСПИ), которые представляют формы методов математического моделирования обработки и анализа изображений.

*Третья глава* посвящена исследованию универсальных алгебр на основе множеств бинарных, полутоновых и цветных реализаций изображений. Автор диссертационной работы допускает использование в качестве главных операций изучаемых алгебр методы, сведенные к четырем классам: арифметические, логические, морфологические и методы фильтрации цифровой обработки изображений. Для бинарных реализаций изображений найдены полугруппы, моноиды и абелевы группы с логическими главными операциями.

Также проведены исследования с морфологическими операциями дилатации, эрозии, замыкания и размыкания в роли главных операций универсальных алгебр. Для полутоновых и цветных реализаций изображений использованы также логические операции и операции фильтрации, которые совместно с множествами реализаций изображений образуют универсальные алгебры в виде полугрупп, моноидов и абелевых групп. Результаты исследований третьей главы сформулированы в виде утверждений, лемм и следствий с доказательствами. На базе полученных универсальных алгебр строится пространство обработки и анализа изображений, содержащее 3 подпространства и его воронку. Проведена численная оценка мощностей множеств главных элементов для подпространств, которая позволяет оценить геометрическую вероятность попадания начальных изображений в воронку. Необходимость в такой оценке связано с природой показательной сложности пространство обработки и анализа изображений, что на самом деле является актуальной задачей. Разработан программный комплекс для среды вычислений MATLAB, позволяющий автоматически провести расчеты вероятности. Согласно мнению автора диссертации, обработку и анализ начальных изображений, попавших в воронку, можно смоделировать в виде суперпозиции Т-ДАСПИ и Р-ДАСПИ соответственно.

*Четвертая глава* посвящена решению задачи измерения количество и площади природных водоемов на спутниковых снимках. Для выбора начальных изображений автор вычисляет геометрическую вероятность попадания в воронку пространства обработки и анализа изображений с помощью формул из третьей главы. Далее производится разработка функции измерения системы технического зрения с использованием Т-ДАСПИ и Р-ДАСПИ в соответствии с материалами второй главы. Автор диссертации допускает существование более одного набора значений параметров измерительной функции, позволяющих провести измерение площади и количества природных водоемов с заданной точностью. Для их нахождения задача поиска сводится к задаче оптимизации двухпараметрической нелинейной целевой функции с линейными ограничениями. Оптимизация целевой функции произведена с применением генетического алгоритма. Найдено более одного набора значений параметров функции системы технического зрения, для которых точность измерения в наихудшем случае достигает 86.51%.

В заключении представлены основные выводы по результатам исследований в соответствии с пунктами паспорта специальности и приведены рекомендации по их использованию.

**Степень обоснованности научных результатов** и корректность теоретических выводов следует из строгих, математически доказательств. **Достоверность** обеспечивается строгой формализованностью вводимых теоретических конструкций и их непротиворечивостью теории дескриптивных алгебр изображений. Разработанные методы математического моделирования участвуют в постановке задач параметрической оптимизации, как задачи многопараметрической минимизации нелинейной целевой функции с линейными ограничениями, что находится в рамках теории оптимального

управления, параметрической идентификации систем и численной оптимизации. Численные методы стохастической минимизации (генетические алгоритмы) целевой функции позволяют получить результаты заданной точности, на примере решения задачи вычисления площади и количества природных водоемов, как задачи минимизации многопараметрической целевой функции с ограничениями.

Полученные результаты исследований своевременно опубликованы, апробированы на различных всероссийских и международных конференциях, а также научных семинарах, проведенных в научно-исследовательских и высших учебных учреждениях. Диссертация А.Р. Исхакова имеет стройную, логически законченную структуру, автореферат соответствует содержанию диссертации. По теме диссертации соискателем опубликовано 18 научных работ, из них 4 статьи опубликованы в журналах из перечня ВАК Минобрнауки РФ, 1 статья опубликована в международном рецензируемом журнале, включенным в наукометрическую базу Web of Science, 1 статья опубликована в международном рецензируемом журнале, включенном в наукометрические базы Scopus, Web of Science, EBSCO, Zentralblatt MATH, Ulrich's Periodicals Directory, издана 1 монография в организации, где выполнена диссертационная работа, зарегистрировано 1 свидетельство о программном комплексе по теме диссертации.

**Значимость для науки и практики выводов и рекомендаций диссертации.** Материалы диссертационной работы применимы в аналитических и численных исследованиях различных методов математического моделирования обработки и анализа изображений. Полученные методы могут быть применены для решения задач измерения широкого класса признаков на изображениях. Разработанные инструменты могут быть использованы в дистанционном зондировании Земли, в робототехнике, в промышленности, в разработках систем технического зрения, компьютерного зрения, систем автоматического управления и контроля и т.п. Сочетание теоретических выводов и возможности применения результатов в актуальных прикладных задачах является достоинством диссертации. Теоретические результаты диссертации, разработанные автором алгоритмы и программы представляют интерес для применения в исследованиях научных коллективов ВЦ им. А.А. Дородницына РАН, ГосНИИАС, Института космических исследований РАН, Института систем обработки изображений РАН, российских высших учебных заведений, которые специализируются в области цифровой обработки изображений, робототехники, разработками систем технического и компьютерного зрения и т.п.

**Замечания по диссертации.** Содержательный анализ материалов диссертационной работы позволил обнаружить следующие недочеты:

1. Определение 1 допускает в теории модифицированных дескриптивных алгебр изображений всего лишь бинарные, полутоновые и полноцветные изображения. Возможно ли расширение этого определения на другие виды изображений и как их правильно их ввести в определение?

2. В первой главе введены такие дополнительные понятия, как семантическая и контекстная информация об изображении, но они в дальнейших исследованиях и последующих главах не находят применения. На каком этапе можно было бы использовать семантическую или контекстную информацию об изображении при решении задачи четвертой главы?
3. В определении 14 (глава 2, стр.81) Т-ДАСПИ применяется суперпозиция процедурных преобразований, что можно интерпретировать как упорядоченную последовательность используемых методов обработки изображений. Почему в определении Р-ДАСПИ применяется композиция, как объединяющая операция для параметрических преобразований и как эта композиция интерпретируется в рамках термина Р-ДАСПИ? Обычно при измерении нескольких взаимоувязанных признаков результаты измерения влияют друг на друга. В качестве примера можно привести задачу, решаемую автором в четвертой главе, где наблюдается взаимное влияние количества озер на их площади. Однако автор не использует это определение в разработке измерительной функции.
4. Результаты оптимизации из таблицы 4.3 (глава 4, стр. 140) целевой функции (119) (глава 4, стр. 133) не соответствуют изображениям ее поверхности на рисунках 4.4 (глава 4, стр. 134) или 4.5 (глава 4, стр. 135), ибо эта поверхность должна иметь конечное число точек минимума.

Приведенные замечания не уменьшают значимости представленных научных результатов и не влияют на общую оценку диссертационной работы.

**Общая оценка работы.** Диссертационная работа А.Р. Исхакова «Методы математического моделирования обработки и анализа изображений в модифицированных дескриптивных алгебрах изображений» представляет собой научно-квалификационную работу, в которой содержится решение задачи, имеющей существенное значение для математического моделирования и численных методов. Полученные результаты имеют важное научное значение для специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Результаты диссертации являются новыми, строго обоснованы и получены автором самостоятельно. Автореферат и публикации достаточно полно отражают содержание диссертации.

Диссертационная работа соответствует требованиям ВАК Министерства образования и науки РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Исхаков Алмаз Раилевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Отзыв о диссертации Исхакова А.Р. составлен доктором технических наук, профессором Ларкиным Евгением Васильевичем, доктором физико-математических наук, профессором Толоконниковым Львом Алексеевичем и доктором технических наук, доцентом Котовым Владиславом Викторовичем. Работа обсуждена, а отзыв заслушан и одобрен на расширенном заседании

кафедры робототехники и автоматизации производства ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» 18 мая 2017 года, протокол №7.

Заведующий кафедрой робототехники  
и автоматизации производства ТулГУ,  
доктор технических наук, профессор

Е.В. Ларкин

Профессор кафедры прикладной математики  
и информатики ТулГУ,  
доктор физико-математических наук,  
профессор

Л.А. Толоконников

Профессор кафедры робототехники  
и автоматизации производства ТулГУ,  
доктор технических наук, доцент

В.В. Котов

*Подпись проф. Е.В. Ларкина, проф. Л.А. Толоконникова  
и доц. В.В. Котова заверяю*

Учёный секретарь  
22.05.2017



Л.И. Лосева

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Тульский государственный университет»  
Почтовый адрес: 300012, г. Тула, просп. Ленина, 92  
тел.: (4872) 35-34-44, E-mail: [info@tsu.tula.ru](mailto:info@tsu.tula.ru), сайт: <http://www.tsu.tula.ru>

Кафедра робототехники и автоматизации производства ТулГУ  
тел.: (4872) 35-02-19, E-mail: [elarkin@mail.ru](mailto:elarkin@mail.ru)