

## ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертационную работу Каташевцева Михаила Дмитриевича «Математическое моделирование контурных изображений и вычислительная сложность их анализа», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по научной специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»**

Диссертационная работа М.Д. Каташевцева «Математическое моделирование контурных изображений и вычислительная сложность их анализа» содержит оригинальные результаты одновременно из трех областей: математического моделирования (представление контурных изображений), численных методов (оценки вычислительной сложности анализа моделей контурных изображений) и комплексов программ (решение практически значимых задач). С точки зрения развития информационных технологий наиболее важным результатом является возможность эффективно обрабатывать данные организованные более сложно, чем таблицы реляционных баз данных (БД).

Актуальность темы диссертационного исследования обусловлена необходимостью разработки эффективных вычислительных методов решения информационных задач, важных для современной науки, как в теоретическом, так и в практическом плане.

Основной целью диссертационной работы является определение алгоритмической сложности анализа контурных изображений, включая поиск изоморфных вложений образцов в анализируемое изображение. В работе для достижения этой цели последовательно решаются следующие задачи:

- преобразование раstra контурного изображения в нагруженный граф специального вида;
- преобразование нагруженных графов специального вида в математические модели, представленные многоосновными алгебраическими системами, где контурные изображения сведены к ориентированным дугам, связям дуг и их численным характеристикам в градусном измерении и относительных размеров длины дуг;
- определение алгоритмической сложности анализа контурных изображений, включая проверку изоморфных вложений образцов в анализируемое изображение.

Дополнительно рассматриваются следующие проблемы:

- определение масштабных рядов контурных изображений и процедуры сжатия на основе относительных размеров дуг;
- использование изоморфного вложения сжатого образца в сжатое изображение для уменьшения алгоритмической сложности построения изоморфного вложения исходного образца в исходное изображение;
- анализ плоских контурных изображений, представляющих объекты с наложениями (наличие объектов 1-го и других планов);
- использование полученных математических методов, математических моделей представления данных, алгоритмов и комплексов программ для решения прикладных задач.

**Общая характеристика работы.** Диссертационная работа включает введение, 3 главы, заключение, список литературы и приложения. В целом диссертационная работа оформлена на 100 страницах, включает 29 рисунков и 7 таблиц.

Во введении определены объект и предмет исследования, цели исследования, обоснована актуальность темы исследования, сформулированы задачи и методы их решения, приведены основные положения, выносимые на защиту, дается краткое содержание диссертации по главам.

В первой главе приведен обзор научной литературы по современному состоянию теории распознавания образов, работам поисковых систем, а также описание основных используемых методов и технологий. Также она содержит классическую постановку задачи распознавания и сравнения наиболее популярных методов, используемых для решения задачи распознавания рукописного текста. Информативной является приведенная сравнительная таблица методов, позволившая сделать общий вывод об ограниченности применения каждого метода в отдельности.

Во второй главе содержится описание математической модели, связанной с представлением контурных изображений, а также рассмотрены методы решения задачи распознаванию таких изображений. В первых двух разделах главы содержатся сведения о базовой теории, приведены формулировки и основные определения, которые используются в последующем материале. В следующем разделе приведен алгоритм волновой скелетизации. Дается доказательство утверждения о сходимости этого алгоритма. Далее приведена основная базовая постановка задачи распознавания изображений. Для этой задачи разработан алгоритм решения и определена оценка алгоритмической сложности задачи. Последние разделы главы содержат постановки задачи распознавания контурных изображений в различных вариациях, расширяющих базовую постановку задачи и представлены доказательства по верхним оценкам алгоритмической сложности для каждого из рассмотренных вариантов.

В третьей главе приведены примеры использования разработанных алгоритмов на производстве и в дорожном строительстве. В первом разделе главы дается описание программного продукта, разработанного для тестирования полученных алгоритмов. Он включает три модуля: конвертор растровых изображений, который используется для наполнения базы данных тестовыми образцами, интерпретатор для тестирования алгоритмов и браузер базы данных. Следующий раздел включает описание программного комплекса, предназначенного для оценки устойчивости битумных эмульсий, используемых в дорожном строительстве. Приведено описание работы системы оценки морфологических характеристик частиц в битумных эмульсиях и построения распределений по этим данным. Последний раздел главы посвящен методам интерпретации для задачи автоматизации составления проекта организации дорожного движения. Здесь предложена реализация надстройки БД для проверки удовлетворения расположения объекта на линейном графике набору ограничений в соответствии со стандартами.

Основные результаты и выводы работы достаточно полно и всесторонне обоснованы. В целом работа производит хорошее впечатление, ее результаты можно трактовать как новое решение научно-технической задачи, имеющей существенное значение для развития численных методов и математического

моделирования, Автор грамотно подошел к построению новых математических алгоритмов и численных методов, успешно реализовал соответствующие алгоритмы в виде комплексов программ.

Работа прошла соответствующую апробацию, основные результаты отражены в 12 публикациях, среди которых 9 публикаций в изданиях, рекомендованных ВАК. Получено одно свидетельство государственной регистрации программ для ЭВМ.

Научные положения, выводы и результаты диссертационной работы корректны и научно обоснованы.

Диссертация соответствует специальности 05.13.18 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (п.п. 1, 3, 4.).

**Научная новизна, практическая ценность и достоверность результатов.** Новизна полученных результатов и их научная ценность заключается в построении математической модели контурных изображений, представленной ориентированными дугами, связям дуг и их численными характеристиками в градусном измерении, а также относительными размерами длин дуг.

Показано, что математические модели контурных изображений, хотя и имеют более сложную организацию данных, чем таблицы реляционных БД, но позволяют получить почти аналогичные результаты по алгоритмической сложности анализа контурных изображений, включая проверку изоморфных вложений образцов в анализируемое изображение.

Эффективная обработка данных в табличной форме в рамках технологий «BigTable» теоретически обоснована в исследованиях:

- Д.Кнута и др. по вычислимости запросов для данных, представленных древовидными структурами;
- Э.Кодда и др. по табличной организации данных для реляционных сетевых СУБД (MS SQL Server, Oracle и др.).

Поэтому результаты диссертационной работы М.Д. Каташевцева в определенной мере можно трактовать как продолжение и развитие методов, предложенных Д.Кнутом, Э.Коддом и др.

Проведены исследования по использованию масштабных рядов контурных изображений и процедуры сжатия на основе относительных размеров дуг, которые можно использовать для повышения эффективности анализа исходных изображений.

Определены оценки вычислительной сложности анализа плоских контурных изображений, представляющих объекты с наложениями. Причем показано, что увеличение вычислительной сложности поиска образцов 2-го плана остается неизменным для образцов 3-го и последующих планов.

Практическая значимость результатов диссертационной работы состоит в возможности использования разработанных методов представления данных для решения конкретных прикладных задач:

- распознавания рукописных символов;
- оценки устойчивости битумных смесей;
- автоматизации составления ПОДД (проектов организации дорожного движения).

Достоверность результатов обосновывается строгими математическими определениями и доказательствами.

### Замечания по диссертационной работе:

1. Обзорная часть работы не позволяет ясно определить место предложенных методов анализа изображений в целом спектре уже сформулированных другими авторами.

2. Доказательства ряда утверждений (например, стр. 56 теорема 2.5.6) излагаются сжато, что затрудняет чтение диссертационной работы.

3. В пункте 3.1.1 «конвертор растровых изображений» упоминается этап обучения. Однако в теоретической части (глава 2) диссертации, данный вопрос не поднимается.

4. В тексте диссертации рисунок 3.10 (стр. 76) малоинформативен. Не ясно на основании каких данных строятся графики и что автор пытался показать.

**Заключение.** Высказанные выше замечания не снижают высокого уровня проведенной соискателем работы, из чего следует, что диссертационная работа Каташевцева Михаила Дмитриевича «Математическое моделирование контурных изображений и вычислительная сложность их анализа» является завершенной научно-квалификационной работой. Полученные автором результаты являются достаточно новыми, обоснованными и достоверными. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Работа отвечает требованиям Положения ВАК о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор, Каташевцев Михаил Дмитриевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент:  
профессор кафедры  
«Информационные системы и  
защита информации», ФГБОУ ВО  
«Иркутский государственный  
университет путей сообщения»  
(почтовый адрес: 664074, Россия, г.  
Иркутск, ул. Чернышевского, 15,  
тел. (8-395-2) 63-83-11,  
email: daneev@mail.ru),  
д. т. н., профессор

Данеев Алексей Васильевич

« 27 » « IV » 2022 г.