САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
SAMARA UNIVERSITY

федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева»

ул. Московское шоссе, д. 34, г. Самара, 443086
Тел.: +7 (846) 335-18-26 , факс: +7 (846) 335-18-36
Сайт: www.ssau.ru, e-mail: ssau@ssau.ru
ОКПО 02068410, ОГРН 1026301168310,
ИНН 6316000632, КПП 631601001

11.10.2018 № 102-6345

На №_____ от_____

УТВЕРЖДАЮ

Ректор
член-корреспондент РАН,
доктор технических наук, профессор

_____ Е. В. Шахматов

«11» 10. 2018 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Кучуганова Александра Валерьевича
«Методология семантического анализа и поиска графической информации»,
представленную на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка
информации (в промышленности) (технические науки)

1. Актуальность темы диссертационного исследования

Решение проблемы семантического анализа и описания графической информации является важным для дальнейшего развития компьютерных систем автоматизированного или автоматического поиска и описания объектов на изображениях. Существующие инструменты CBIR-систем (Content-Based Image Retriavel), как правило, основанные на спектральных дескрипторах и искусственных нейронных сетях, пока недостаточно успешны: обеспечивают до 80% релевантности на относительно простых объектах. Поэтому в промышленных системах поддержки принятия решений эти инструменты практически не применяются.

Задача анализа и структурного описания изображенных объектов, в том числе, таких как эскизы, чертежи, 3D модели сложна из-за необходимости учитывать пространственные взаимосвязи структурных элементов при большом числе вариантов объектов. Выявление сходства и отличий в процессе сопоставления изображений также является актуальной задачей для поддержки управленческих решений.

Современные автоматизированные системы управления бизнес-процессами предприятия широко используют онтологии знаний и данных. Однако инструментарий семантического и прагматического анализа графической информации в них исчерпывается поиском с помощью классификационных кодов и текстов, задаваемых вручную.

В целях повышения эффективности систем поддержки принятия решений требуется разработка новых методологий, сочетающих различные подходы к структурному анализу графической информации. Сказанное подтверждает актуальность темы диссертации А.В. Кучуганова «Методология семантического анализа и поиска графической информации» как с научной, так и с практической стороны.

2. Научная новизна результатов диссертационной работы

В диссертации получены следующие основные результаты, обладающие научной новизной:

- Методология автоматического семантического анализа и поиска графической информации, основанная на семиотическом подходе и включающая три уровня моделей и методов анализа: синтаксический (выделение морфологических признаков и структур), семантический (распознавание и логический вывод), прагматический (характеристика объектов и связей между ними),
- Концептуальная модель процесса семантического анализа и поиска графической информации, основанная на когнитивной модели «треугольник Фреге» восприятия информации человеком и содержащая развернутые представления графических информационных структур.
- Математическая модель изображения в виде многослойного атрибутивного графа, отличающаяся от известных тем, что с целью получения более информативного представления изображений включает границы областей, скелетоны, контуры и наборы их атрибутов формы и пространственной ориентации.
- Метод сопоставления атрибутивных графов изображений, позволяющий автоматически выявлять сходство и отличия между объектами графической информации в процессе поиска аналогов.
- Онтологическая база знаний и данных изображений на основе описательной логики *ALC,* расширенной на область данных, представленных в виде атрибутивных графов.
- Метод аппроксимации графической информации путем выделения скелетона графических объектов с помощью разбиения фигуры на выпуклые многоугольники в местах, где граница имеет отрицательный перегиб.

3. Достоверность и обоснованность полученных результатов исследования

Достоверность и обоснованность полученных результатов обеспечиваются корректным применением известных научных методов исследования и обработки данных, современного математического аппарата, соответствием экспертных и программно рассчитанных характеристик объектов изображения, положительными результатами применения разработанной методологии на реальных данных. Для

решения поставленных в диссертации задач, обоснования полученных результатов и выводов автор корректно использует элементы теории системного анализа, классической математической логики, нечеткой логики, теории множеств, теории графов, теории распознавания образов и кластерного анализа.

4. Теоретическая и практическая значимость работы

К проблеме распознавания образов и анализа изображений впервые применен семиотический подход, позволивший автору разработать сквозную методологию от выделения морфологических признаков и построения синтаксических структур до семантики и прагматики графической информации. На основании этой методологии построены практические информационные технологии.

Разработанный автором метод аппроксимации путем выделения скелетона графических объектов представляет не только теоретический, но и большой практический интерес. Обычно в задачах автоматического анализа изображений, в частности, при поиске объектов интереса на аэрокосмических снимках не выделяют скелетоны из-за высокой вычислительной сложности известных методов. Метод, предложенный в данной работе, представляется весьма перспективным.

Математическая модель изображения в виде многослойного атрибутивного графа, предложенная автором, удобна для решения и задач распознавания образов, и задач сопоставительного анализа изображений.

Расширение логики *ALC* на атрибутивные графы синтаксиса и семантики, имеющее целью определение понятий, содержащих факты, связанные пространственными отношениями, обеспечивает интерпретацию понятий на пространственно распределенных данных изображений объектов со сложной структурой. Это расширяет область применения описательных логик и онтологических баз знаний. Научное и практическое значение предложенного решения существенно, поскольку базы данных графов широко применяются в различных предметных областях.

Практическую значимость имеет программный комплекс, разработанный под руководством и при непосредственном участии автора и реализующий предложенную методологию анализа, содержательного описания и сопоставления графической информации. Результаты диссертации использованы:

- в работе ООО "Нордика Стерлинг", при реализации проектов по техническому перевооружению предприятий;
- в работе ОАО «Ижевский электромеханический завод «Купол» для поиска графической информации в хранилищах данных;
- в отделе патентно-информационных исследований и интеллектуальной собственности ИжГТУ – для автоматизированной системы патентно-лицензионного поиска (Государственный контракт № 01.647.12.3009 в рамках

ФЦП «Развитие инфраструктуры наноиндустрии в Российской Федерации на 2008-2010 годы»);

- в рамках госбюджетной темы № 4043 Госзаказ МОиН по теме: "Разработка и экспериментальное исследование системы аэрокосмического и геоинформационного мониторинга" для визуализации результатов геоэкологических исследований северных экосистем;
- в учебном процессе на кафедрах «Вычислительная техника» и «Автоматизированные системы обработки информации и управления» Ижевского государственного технического университета имени М.Т. Калашникова.

5. Рекомендации по использованию результатов и выводов

Предложенная методология семантического анализа графической информации в целом и отдельные ее теоретические положения могут быть использованы при решении широкого круга задач извлечения знаний из изображений.

Применение разработанного в ходе исследования программного комплекса содержательного описания и сопоставления графической информации целесообразно для перевода архивных чертежей в машиночитаемую форму, классификации и содержательного поиска в хранилищах конструкторско-технологических данных, а также для анализа данных аэрокосмического мониторинга. Система или ее отдельные модули позволяют:

- повысить релевантность результатов поиска чертежей-аналогов и за счет этого снизить затраты на проектирование и подготовку производства новых изделий;
- сократить длительность и повысить качество обработки аэрокосмических снимков.

Автоматическое описание, поиск и классификация деталей по геометрическим, техническим, технологическим, производственным параметрам повышает степень унификации технологических процессов и оснастки, обоснованность и качество нормирования труда, расширяет сферу применения группового подхода к технологическому проектированию.

6. Оценка структуры и содержания работы

Диссертационная работа изложена на 248 страницах, состоит из введения, пяти глав, заключения, 4-х приложений. Список литературы включает 176 наименований.

Во **введении** приведена актуальность работы, сформулированы базовые принципы организации семантического анализа графической информации, цель и задачи исследования; представлены научная новизна и практическая значимость работы; приведены положения, выносимые на защиту. Указаны реализация и апробация результатов исследования.

В **первой главе** показаны особенности представления и использования различных видов графической информации; проанализированы существующие

методы выделения контуров, векторизации, скелетизации, цветовой сегментации изображений, сопоставления графов; кратко описаны существующие подходы и технологии поиска графической информации в автоматизированных системах, даны их сравнительные характеристики; сформулированы выводы, цель и задачи диссертационного исследования.

Во **второй главе** сформулированы принципы обработки графической информации, которые следует учитывать при комплексировании систем компьютерного зрения, представлена разработанная в ходе данного исследования методология семантического анализа и поиска графической информации, её теоретические основания, структура и требования к формализованным представлениям графических данных. Показаны особенности применения семиотического подхода к проблематике моделирования, обработки и анализа графической информации.

В **третьей главе** описаны разработанные автором методы и алгоритмы синтаксического анализа графической информации. Объектами анализа являются простейшие (атомарные) элементы изображения: контурные точки, разветвления и концы линий, объекты, образованные контурными точками. Рассмотрены:

- методы выделения локальных морфологических признаков: анализа лучей, исходящих из центрального пиксела окрестности; вычисления вектора контурной линии в окрестности заданной точки; выделения особых точек с учетом количества исходящих линий; выделения граничных точек площадного объекта;
- методы, анализирующие сочетания морфологических особенностей: метод рекурсивной оптимизации особых точек; метод экстраполяции особых точек; метод выделения цепочек контурных линий путём анализа вектора линии в окрестности контурной точки и захвата особых точек.

Описан общий алгоритм анализа и синтеза морфологических признаков изображения. На их основе далее формируются более сложные конструкции. Предложены методы аппроксимации графической информации с целью повышения эффективности алгоритмов семантического анализа: сегментации цветных изображений; аппроксимации контурных и граничных линий отрезками прямых и дугами окружностей; аппроксимации плоских невыпуклых фигур с помощью нового метода выделения скелетона.

Рассмотрена синтаксическая модель изображения в форме Бэкуса-Науэра и в структурированной текстовой форме XML.

В **четвертой главе** представлена синтаксическая модель изображения в виде многослойного атрибутивного графа, содержащего слой цветовых сегментов, слой границ сегментов, слой скелетонов, слой контуров.

Рассматриваются: метод сопоставления нечетких пространственно нагруженных графов; алгоритм, позволяющий выявлять совпадающие и

несовпадающие цепочки; формулы для оценки сходства (меры близости) объектов.

Предложена дескрипционная логика семантического анализа и описания графических объектов и алгоритм вывода в этой логике. Даны примеры предметных терминологий графической информации, методика контроля корректности описаний.

Представлен алгоритм синтеза классификаторов деталей и конструктивных элементов путем кластеризации, учитывающей геометрические характеристики объектов.

В **пятой главе** описана методика и информационные технологии семантического анализа, сопоставления и поиска графической информации, основанные на разработанной автором методологии. Показаны технологии применения методологии в задачах векторизации сканированных чертежей, графического поиска чертежей по наброску или эскизу, кластеризации множеств деталей по геометрическим характеристикам.

Представлены структурная схема программного комплекса анализа графической информации и результаты экспериментов на задачах: векторизации архивных чертежей; графического поиска чертежей по наброску или эскизу; группирования деталей в технической подготовке производства.

В **заключении** приведены основные результаты и выводы, полученные в ходе исследования, которые подтверждают достижение цели диссертационного исследования: повышение релевантности результатов семантического анализа и поиска графической информации в системах поддержки принятия решений.

В **приложениях** кратко описаны подсистемы: анализа и дешифрирования аэрокосмоснимков, анализа папиллярных узоров пальцевых отпечатков, распознавания старославянских текстов, основанные на разработанной методологии. Приведены акты внедрения результатов диссертационной работы.

7. Соответствие паспорту специальности

Содержание диссертации соответствует требованиям паспорта научной специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в промышленности) (технические науки). Область исследований соответствует следующим пунктам паспорта специальности:

- п. 2. Формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации;
- п. 3. Разработка критериев и моделей описания и оценки эффективности решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации;
- п. 4. Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации;

- п. 5. Разработка специального математического и программного обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации;
- п. 10. Методы и алгоритмы интеллектуальной поддержки при принятии управленческих решений в технических, экономических, биологических, медицинских и социальных системах;
- п. 12. Визуализация, трансформация и анализ информации на основе компьютерных методов обработки информации.

8. Замечания по диссертационной работе

1. Из материалов диссертации не ясно, как поведут себя предложенные алгоритмы на текстурированных изображениях?
2. Для большей универсальности в многослойный граф изображения было бы целесообразно добавить слой, отображающий граф смежности цветовых сегментов.
3. В диссертации не показаны преимущества предложенного подхода по сравнению с подходами, основанными на нейросетевых технологиях.
4. Непонятно, что автор понимает под *оперативной* классификацией деталей.

Указанные замечания не снижают общей ценности выполненного научного исследования.

9. Заключение

Диссертация Кучуганова Александра Валерьевича, представленная на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в промышленности) (технические науки), является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне.

В работе содержится решение проблемы машинного построения формализованного описания изображений, имеющее существенное значение для совершенствования методов системного анализа графической информации как сложной системы, принципов управления принятием решений на основе результатов этого описания.

Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Стиль изложения диссертации четкий и ясный, работа грамотно и аккуратно оформлена. Каждая глава завершается обстоятельными выводами.

По материалам диссертации опубликовано 67 печатных работ, в том числе 30 статей в изданиях из перечня, рекомендованного ВАК Минобрнауки РФ (из них пять статей в БД Scopus, три статьи в БД Web of Science), а также две монографии.

Автореферат диссертации соответствует ее основному содержанию.

Диссертационная работа отвечает требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Кучуганов Александр Валерьевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации(в промышленности) (технические науки).

Отзыв обсужден и одобрен на заседании научно-технического семинара кафедры геоинформатики и информационной безопасности Самарского университета, протокол № 2 от 8 октября 2018 г..

Руководитель семинара –
директор института информатики,
математики и электроники,
заведующий кафедрой геоинформатики
и информационной безопасности,
д. т. н., профессор В.В. Сергеев