

На правах рукописи



АКИНИН Максим Викторович

**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ
АВТОМАТИЧЕСКОГО СОВМЕЩЕНИЯ ДАННЫХ
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ И
ЦИФРОВЫХ КАРТ МЕСТНОСТИ**

Специальность 05.13.18 —
«Математическое моделирование, численные методы
и комплексы программ»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань - 2014

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Рязанский государственный радиотехнический университет» (ФГБОУ ВПО «РГРТУ»)

Научный руководитель: **Таганов Александр Иванович,**
доктор технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Космические технологии»
ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный радио-
технический университет»

Официальные оппоненты: **Сергеев Владислав Викторович,**
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Геоинформатика и инфор-
мационная безопасность»,
ФГАОУ ВО «Самарский государственный аэрокос-
мический университет имени академика С.П. Коро-
лева»

Ерусланов Руслан Валентинович,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Радиотехнические и медико-
биологические системы»,
ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный техно-
логический университет»

Ведущая организация: **Филиал ОАО «Ракетно-космический центр
«Прогресс» - ОКБ «Спектр», г. Рязань.**

Защита состоится *16 декабря* 2014 г. в *13* часов *00* минут
на заседании диссертационного совета Д 212.211.02 в ФГБОУ ВПО «Рязанский
государственный радиотехнический университет» по адресу: **390005, г. Рязань,
ул. Гагарина, д. 59/1.**

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Рязан-
ский государственный радиотехнический университет» и на сайте университета
www.rsreu.ru.

Автореферат разослан 2014 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
канд. техн. наук, доцент



Д.А. Перепелкин

Общая характеристика работы

Актуальность темы

Совмещение данных дистанционного зондирования Земли (данных ДЗЗ) и цифровых карт местности (ЦКМ) в настоящее время является актуальной задачей, что подтверждается востребованностью совмещения при решении следующих задач обработки данных ДЗЗ:

- задачи автоматического и полуавтоматического уточнения топографических карт по актуальным спутниковым снимкам;
- задачи оцифровки картографического материала, имеющегося в бумажном виде, поскольку, как правило, привязка данного картографического материала к той или иной системе координат требует дополнительного уточнения;
- задачи первичной привязки спутниковых снимков по данным о положении и ориентации космического аппарата (КА), сделавшего снимок.

Разработка методов и алгоритмов автоматического совмещения данных ДЗЗ и ЦКМ позволит повысить оперативность и уровень автоматизма решения перечисленных задач.

Исследованию научных вопросов, связанных с обработкой изображений (в частности, с совмещением разнородных изображений), посвящены работы известных отечественных и зарубежных ученых. Большой вклад в развитие научных исследований в этой области внесли: Алпатов Б.А., Визильтер Ю.В., Джанджгава Г.И., Евтушенко Ю.Г., Еремеев В.В., Желтов С.Ю., Злобин В.К., Сергеев В.В., Сойфер В.А. и другие. Значительное внимание этой проблеме уделяют и зарубежные ученые: Башков Е., Блейхут Р., Понс Ж., Прэтт У., Форсайт Д., Фукунага К.

Большой вклад в развитие научных исследований в области исследования научных вопросов, связанных с теорией искусственного интеллекта, теорией машинного обучения и теорией оптимизации, внесли: Вапник В.Н., Демидова Л.А., Каширин И.Ю., Кохонен Т., Корячко В.П., ЛеКун Я., Локтюхин В.Н., Осовский С., Платт Д., Розенблатт Ф., Ручкин В.Н., Скворцов С.В., Фукушима К., Хайкин С., Харалик Р.М., Червоненкис А.Я., и другие.

Анализ публикаций в области теории и практики совмещения данных ДЗЗ и ЦКМ позволяет говорить о существовании ряда проблем в данной области, к которым относятся:

- отсутствие полностью автоматического подхода к решению задачи совмещения, основанного исключительно на анализе данных ДЗЗ и ЦКМ без использования дополнительной информации о положении КА, о существовании реперных точек, выделенных экспертом на спутниковом снимке и ЦКМ и других данных. Таким образом, существующие методы являются либо полуавтоматическими с существенным (и, в ряде случаев, ключевым участием эксперта), либо требуют дополнительную информацию, часто отсутствующую в наборах исходных данных к совмещению;
- существенные временные затраты на выполнение совмещения, обусловленные полуавтоматизмом существующих методов;
- отсутствие практических способов автоматического контроля за качеством совмещения, поскольку означенный контроль выполняется модифицированным алгоритмом совмещения, а значит перенимает от него все его недостатки, связанные с существенными временными затратами и низким уровнем автоматизации.

Сложность задачи совмещения существенно возрастает в ситуациях, требующих оперативного совмещения, поскольку в данном случае повлечется четкое ограничение на время выполнения совмещения, выполнение которого не гарантируют существующие полуавтоматические методы и алгоритмы.

В данной диссертационной работе исследуются системы искусственного интеллекта и разрабатываются алгоритмы моделирования данных систем и численные методы оптимизации, решающие некоторые задачи обучения данных систем, реализующие в совокупности процесс совмещения данных ДЗЗ и ЦКМ и свободные от перечисленных недостатков.

Цель работы

Целью диссертационной работы являются исследование математической модели процесса совмещения данных ДЗЗ среднего и высокого разрешения и ЦКМ соответствующего масштаба, исследование математических моделей нейросетевых систем искусственного интеллекта, реализующих высокоточное оперативное совмещение данных ДЗЗ и ЦКМ в условиях некорректной привязки к системе координат и наличия ошибок в проецировании исходных данных, разработка алгоритмов моделирования данных систем, численных методов обучения данных систем, комплексов программ, реализующих перечисленные алгоритмы и методы.

Объект исследования

Объектами диссертационного исследования являются математическая модель процесса совмещения данных ДЗЗ и ЦКМ и методы совмещения, основанные на применении нейросетевых систем искусственного интеллекта.

В теоретической части диссертационной работы (главы №№ 1 - 3) описывается математическая модель процесса совмещения, выполняется моделирование систем искусственного интеллекта, реализующих данное совмещение, а также выполняется разработка численных методов обучения данных систем.

В практической части диссертационной работы (глава № 4) выполняется разработка комплекса программ, реализующего разработанные алгоритмы моделирования и численные методы, а также приводятся результаты экспериментальных исследований разработанных алгоритмов моделирования систем искусственного интеллекта и численных методов их обучения.

Предмет исследования

Предметом исследования являются математическая модель процесса совмещения данных ДЗЗ и ЦКМ, системы искусственного интеллекта, выполняющие означенное совмещение, алгоритмы моделирования данных систем, численные методы обучения данных систем и инструментальные средства (комплексы программ), обеспечивающие повышение временной и качественной эффективности решения задачи оперативного совмещения данных ДЗЗ среднего и высокого разрешения и ЦКМ соответствующего масштаба в условиях неточностей и ошибок в привязки к системе координат и в проецировании исходных данных в составе ГИС общего и специального назначения, решающих задачи получения картографического материала по результатам обработки данных ДЗЗ.

Основные задачи исследования

Цель диссертационного исследования предопределила постановку и необходимость решения следующих задач:

- 1) проведение анализа проблемы высокоточного оперативного совмещения данных ДЗЗ и ЦКМ с целью оценки возможности использования существующих методов и алгоритмов для выполнения означенного совмещения, выявление недостатков существующих методов и алгоритмов совмещения и формирование набора требований к процессу совмещения, обеспечивающих достижение цели исследования;
- 2) исследование математической модели процесса совмещения данных ДЗЗ и ЦКМ;
- 3) исследование возможности использования систем искусственного интеллекта для решения задачи совмещения данных ДЗЗ и ЦКМ;
- 4) разработка алгоритмов моделирования и численных методов обучения систем искусственного интеллекта, удовлетворяющих требованиям, сформулированным по результатам анализа проблемы;
- 5) разработка комплекса программ (программного стенда), реализующего предложенные алгоритмы моделирования систем искусственного интеллекта и численные методы обучения данных систем;
- 6) проведение экспериментальных исследований возможности использования систем искусственного интеллекта для решения практических задач совмещения данных ДЗЗ и ЦКМ, обобщение и оценка результатов экспериментальных исследований.

Методы исследования

При аналитическом обзоре литературных источников использовались общепринятые методы сбора, систематизации, анализа и обобщения данных в отношении задач, связанных с совмещением данных ДЗЗ и ЦКМ, с автоматической дешифрацией ДЗЗ, с автоматическим уточнением ЦКМ по данным ДЗЗ.

Теоретические исследования и поиск решения сформулированных задач осуществлялись методами теории искусственного интеллекта, теории машинного обучения, теории оптимизации, теории компьютерного зрения.

Аппробация и корректность теоретически найденных закономерностей и решений проверялись вычислительными экспериментами и практическим применением результатов исследований в условиях реальной проектной деятельности.

Научная новизна

В диссертационной работе предложены эффективные модели, алгоритмы моделирования и численные методы решения поставленных задач, научная новизна которых состоит в следующем:

- 1) разработаны алгоритм моделирования и численный метод обучения системы искусственного интеллекта, выполняющей совмещение данных ДЗЗ и ЦКМ путем поиска образов объектов, присутствующих на ЦКМ, на спутниковом снимке с помощью древовидного классификатора, ИНС прямого распространения без обратных связей и

машины опорных векторов, использованных в качестве простых классификаторов в узлах дерева, текстурных признаков Харалика, энергетических текстурных характеристик Лавса, нейронной карты Кохонена и РСА-сети;

- 2) разработан алгоритм моделирования системы искусственного интеллекта, выполняющей совмещение данных ДЗЗ и ЦКМ путем поиска корреляции между контурами образов, выделенных на спутниковом снимке, и границами объектов, присутствующих на ЦКМ с помощью ограниченной стохастической машины Больцмана, нелинейной ячеистой нейронной сети и нейронной сети, основанной на вейвлете Габора;
- 3) разработан комплекс программ, реализующий разработанные алгоритмы моделирования систем искусственного интеллекта и численные методы их обучения.

Соответствие паспорту специальности

Проблематика, исследованная в диссертации, соответствует специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ». Согласно формуле специальности 05.13.18 - это специальность, занимающаяся разработкой фундаментальных основ и применением математического моделирования, численных методов и комплексов программ для решения научных и технических, фундаментальных и прикладных проблем, исследованием математических моделей физических, химических, биологических и других естественно-научных, а также социальных, экономических и технических объектов. Данная диссертационная работа соответствует формуле специальности, поскольку содержит в себе разработку и исследование математической модели процесса совмещения разнородных изображений (в данном случае - спутниковых снимков и ЦКМ) в зрительной системе высокоорганизованных животных и человека, разработку алгоритмов моделирования систем искусственного интеллекта, реализующих модель процесса совмещения, разработку численных методов обучения систем искусственного интеллекта, а также разработку комплекса программ, реализующих перечисленные системы искусственного интеллекта, алгоритмы их моделирования и численные методы их обучения.

Проблематика диссертации соответствует областям исследований:

- пункт 2 формулы специальности - разработка, исследование и обоснование математических объектов, перечисленных в формуле специальности;
- пункт 4 формулы специальности - разработка, обоснование и тестирование эффективных численных методов с применением ЭВМ;
- пункт 5 формулы специальности - реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента;
- пункт 6 формулы специальности - комплексное исследование научных и технических, фундаментальных и прикладных проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента.

Теоретическая значимость

Теоретическая значимость работы заключается в разработке:

- алгоритмов моделирования систем искусственного интеллекта, основанных на использовании ИНС прямого распространения без обратных связей, машин опорных векторов и ограниченных стохастических машин Больцмана для решения задачи совмещения данных ДЗЗ и ЦКМ;
- численных методов обучения предложенных систем искусственного интеллекта;
- алгоритмов в составе означенных систем искусственного интеллекта, в частности:
 - алгоритмов автоматической классификации образов объектов на данных ДЗЗ с применением древовидного бинарного классификатора, состоящего из ИНС прямого распространения без обратных связей и машин опорных векторов;
 - алгоритмов описания образов, выделенных на изображениях, с использованием текстурных признаков Харалика, энергетических характеристик Лавса и ИНС, реализующей метод анализа главных компонент для понижения размерности пространства признаков.

Практическая ценность работы

Практическая ценность диссертационной работы состоит в том, что разработанные алгоритмы моделирования систем искусственного интеллекта, численные методы обучения данных систем, комплексы программ, реализующие перечисленные алгоритмы и численные методы, позволяют в составе ГИС общего и специального назначения повысить эффективность и точность процесса совмещения данных ДЗЗ и ЦКМ путем применения интеллектуальных подходов к совмещению, что отражается в повышении эффективности и точности решения различных задач дешифрации данных ДЗЗ, к которым относятся задачи автоматического картографирования, задачи уточнения ЦКМ и некоторые другие.

Достоверность

Достоверность научных положений, теоретических выводов и практических результатов диссертационной работы подтверждается:

- корректным использованием понятий и выводов теории искусственного интеллекта, теории машинного обучения, теории оптимизации, теории обработки изображений (компьютерного зрения);
- апробацией предложенных алгоритмов моделирования, численных методов и комплексов программ на конкретных примерах и в прикладных задачах;
- разработкой действующих комплексов программ, подтвержденных свидетельствами об официальной регистрации;
- наличием актов внедрения результатов диссертационной работы.

Основные положения, выносимые на защиту

На защиту выносятся следующие результаты диссертационной работы:

- 1) алгоритм моделирования и численный метод обучения системы искусственного интеллекта, выполняющей совмещение данных ДЗЗ и ЦКМ путем поиска образов объектов, присутствующих на ЦКМ, на спутниковом снимке;
- 2) алгоритм моделирования и численный метод обучения системы искусственного интеллекта, выполняющей классификацию образов, выделенных на изображении, с применением древовидного бинарного классификатора, основанного на машинах опорных векторов и ИНС прямого распространения без обратных связей;
- 3) численный метод поиска наилучшей, с точки зрения минимизации функции ошибки, структуры ИНС прямого распространения без обратных связей с применением генетического алгоритма и грамматик графовой генерации Китано;
- 4) алгоритм моделирования системы искусственного интеллекта, выполняющей совмещение данных ДЗЗ и ЦКМ путем поиска корреляции между контурами образов, выделенных на спутниковом снимке, и границами объектов, присутствующих на ЦКМ;
- 5) комплекс программ, реализующий перечисленные алгоритмы моделирования и численные методы.

Апробация работы

Основные результаты работы докладывались на 11 научно-технических конференциях, в том числе 3rd Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO-2014; Черногогория, Будва, 2014 г.), 11th International Conference on Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies (PRIA-11-2013; Самара, СГАУ, 2013 г.), Вторая международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли» (Москва, ВНИИЭМ, 2014 г.), 6-я международная научно-техническая конференция «Космонавтика. Радиоэлектроника. Геоинформатика» (Рязань, РГРТУ, 2013 г.), XI Международная научно-технической конференция «АВИА-2013» (Украина, Киев, НАУ, 2013 г.), III International research and practice conference «Science and Education» (Германия, Мюнхен, 2013 г.), XI Международная научно-технической конференция «Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике» (Пенза, 2011 г.).

Публикации

По теме диссертации опубликовано 26 печатные работы, в том числе 4 статьи в изданиях, входящих в перечень ВАК для кандидатских и докторских диссертаций, 1 статья в издании, включенном в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ), 8 статей в научно-технических журналах и межвузовских сборниках научных трудов, 9 докладов на международных конференциях, 3 доклада на всероссийских конференциях. Имеется 3 свидетельства о регистрации программного продукта для ЭВМ в ФГБУ «Федеральный институт промышленной собственности Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам» (ФГБУ «ФИПС» - РОСПАТЕНТ).

Реализация и внедрение результатов диссертационной работы

Исследования по тематике диссертационной работы проводились в рамках фундаментальных и прикладных исследований, проводимых в ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет», совместно с отраслевыми организациями, и ОАО «Государственный Рязанский приборный завод».

Фундаментальные и прикладные научные исследования:

- «Разработка технических предложений по организации тестовых валидационных участков сельскохозяйственного и лесотехнического назначения» (РГРТУ; Регион В – Валидация – НЦ ОМЗ - Р; 2010 г.);
- «Разработка методов и информационных технологий обработки многоспектральных изображений для мониторинга ландшафтных образований» (РГРТУ; НИР 10-12Г; 2011 - 2014 гг.);

- «Информационная система предупреждения и прогнозирования развития чрезвычайных ситуаций на техногенных комплексах хранения горюче – смазочных материалов» (РГРТУ; НК-424П; 2009 - 2011 гг.);
- «Разработка аппаратно – программных средств совмещения графических изображений в режиме реального времени» (ГРПЗ; внутренний шифр: «Совмещение - 1»; 2011 - 2013 гг.).

Результаты диссертационной работы и разработанный программный стенд внедрены в Научно-конструкторском центре видеокomпьютерных технологий (НКЦ ВКТ) ОАО «Государственный Рязанский приборный завод» в виде программного модуля в составе программного комплекса, реализующего технологии получения и уточнения картографического материала для построения виртуальной модели местности в составе систем комбинированного видения летательных аппаратов.

Результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс кафедр «Космические технологии» и «Электронные вычислительные машины» ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет».

Использование результатов диссертационной работы на практике подтверждено соответствующими актами о внедрении. Получено 3 свидетельства ФГБУ «Федеральный институт промышленной собственности Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам» (ФГБУ «ФИПС» - РОСПАТЕНТ) об официальной регистрации программных продуктов для ЭВМ.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, изложенных на 162 страницах текста (включая 28 рисунков и 13 таблиц), и 1 приложение на 4 страницах. Список литературы содержит 63 наименования.

Личный вклад автора

Все результаты диссертационной работы, в том числе постановка задач, разработка и результаты исследования защищаемых алгоритмов моделирования систем искусственного интеллекта, численных методов обучения данных систем, основные научные результаты, выводы и рекомендации, принадлежат лично автору.

Комплекс программ, реализующий предложенные алгоритмы моделирования систем искусственного интеллекта и численные методы обучения данных систем, разработан под руководством и при непосредственном участии автора.

Работы, выполненные в соавторстве, посвящены общей постановке проблемы, концепции ее решения, предложенной автором, конкретизации разработанных алгоритмов моделирования и численных методов для ряда подзадач, решаемых в процессе выполнения совмещения данных ДЗЗ и ЦКМ, разработке отдельных программных средств.

Содержание работы

Во **введении** обоснованы актуальность исследований, проводимых в рамках данной диссертационной работы, сформулированы цель работы, научная новизна, приведены обзор научной литературы по изучаемой проблеме, содержатся сведения о практическом использовании научных результатов и представлены основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава «Разработка и анализ математической модели процесса совмещения данных ДЗЗ и ЦКМ» содержит:

- формализованное представление математической модели процесса совмещения данных ДЗЗ и ЦКМ;
- определение численного метода оценки качества совмещения;
- краткий обзор существующих методов и алгоритмов совмещения данных ДЗЗ и ЦКМ с анализом их достоинств и недостатков;
- общее описание системы искусственного интеллекта, выполняющих совмещение данных ДЗЗ и ЦКМ путем поиска образов объектов, присутствующих на ЦКМ, на спутниковом снимке;
- общее описание системы искусственного интеллекта, выполняющих совмещение данных ДЗЗ с ЦКМ путем поиска корреляции между контурами образов, выделенных на спутниковом снимке, и границами объектов, присутствующих на ЦКМ;
- требования к различным характеристикам данных ДЗЗ, анализ возможных источников данных ДЗЗ среднего и высокого разрешения.

Модель совмещения спутникового снимка B и ЦКМ M описывается как функция $comp$ (??):

$$\begin{aligned} comp' &= comp(B, M, coord); \\ comp' : \begin{cases} B' &= comp'(B); \\ coord' &= comp'(coord); \\ \{(i', j')\} &= comp'(i, j); \end{cases} \\ (x_{ij}, y_{ij}) &= coord((i, j)); \quad b_{ij} \in B; \quad (x_{ij}, y_{ij}) \in M, \end{aligned} \quad (1)$$

где функция $comp'$ описывает найденные параметры совмещения, B' является результатом преобразования спутникового снимка B к ЦКМ M , функция $coord$ описывает систему координат и проекцию B (т.е. является функцией преобразования координат пикселя в прямоугольные координаты используемой системы координат).

Для оценки качества совмещения $comp$ используется количественная мера ошибки совмещения E . К мере E предъявляются следующие требования:

- $E \rightarrow 0$ при увеличении качества совмещения;
- $E \rightarrow \infty$ при уменьшении качества совмещения;
- E должна быть определена для $\forall B, M, comp$;
- $E \geq 0$; $\forall B, M, comp$.

В настоящей диссертационной работе в качестве меры E используется среднеквадратичное отклонение (СКО) E_{rmse} (??), удовлетворяющее всем перечисленным требованиям.

$$\begin{aligned} (x'_{i'j'}, y'_{i'j'}) &= coord'((i', j')); \\ A &= \frac{\sum_{(i', j') \in comp'(i, j)} \sqrt{(x'_{i'j'} - x)^2 + (y'_{i'j'} - y)^2}}{|comp'(i, j)|}; \\ E_{rmse}(comp', P) &= \frac{\sum_{p \in P} A(p)}{|P|}; \\ P &= \{p\}; \quad p = ((i, j), (x, y)), \end{aligned} \quad (2)$$

где P - множество пар реперных точек p , выделенных на спутниковом снимке B и ЦКМ M вручную. Ручное составление множества P позволяет достичь высокой (практически идеальной) точности соответствия точек, выделенных на спутниковом снимке B , точкам, выделенным на ЦКМ M .

Функция совмещения $comp$ предполагает выполнение следующих действий:

- 1) поиск $find_{equ}$ на спутниковом снимке B и карте M пар совпадающих точек p_{equ} (??):

$$P_{raw\ equ} = find_{equ}(B, M, coord); \quad (3)$$

$$P_{raw\ equ} = \{p_{equ}\}; \quad p_{equ} = ((i_{equ}, j_{equ}), (x_{equ}, y_{equ})); \quad (4)$$

- 2) расчет для каждой пары p_{equ} точек вероятности совпадения $validity(p_{equ})$;
- 3) составление множества P_{equ} пар совпадающих точек (??):

$$\begin{aligned} p_{equ} \in P_{equ} &\Leftrightarrow validity(p_{equ}) \geq T_{equ}; \\ T_{equ} &\in [0, 1), \end{aligned} \quad (5)$$

где T_{equ} суть есть минимально допустимая для включения в множество P_{equ} вероятность (порог вероятности) того, что рассматриваемая пара p_{equ} точек совпадает друг с другом;

- 4) расчет $eval$ по множеству P_{equ} преобразования $comp'$ (??):

$$comp' = eval(P_{equ}). \quad (6)$$

Этап поиска пар совпадающих точек p_{equ} является самым сложным в ходе совмещения спутникового снимка B и ЦКМ M . Под «сложностью» в данном случае понимается как временная сложность, так и сложность по памяти.

Распределение *validity* вероятности совпадения пары p_{equ} имеет сложную природу, зависящую, в общем случае, от вида функции $find_{equ}$ и от значений параметров алгоритма, реализующего данную функцию.

Функция *eval* реализует алгоритм выбора конкретного вида функции $comp'$ и расчета ее параметров. Выбор происходит, в основном, в зависимости от $|P_{equ}|$, а также от ряда других факторов (например, от распределения *validity* на P_{equ}). В качестве функции $comp'$ рассмотрены следующие преобразования $B \rightarrow B'$ и $coord \rightarrow coord'$: аффинное преобразование, линейный сдвиг и масштабирование, преобразование Гельмерта и ряд других преобразований.

Вторая глава «Разработка алгоритма моделирования системы искусственного интеллекта, выполняющей совмещение данных ДЗЗ и ЦКМ путем поиска образов объектов, присутствующих на ЦКМ, на спутниковом снимке» содержит:

- разработку алгоритма моделирования системы искусственного интеллекта, выполняющей совмещение данных ДЗЗ и ЦКМ путем поиска образов объектов, присутствующих на ЦКМ, на спутниковом снимке;
- разработку следующих составных частей алгоритма моделирования:
 - разработку алгоритма выделения образов на спутниковом снимке, основанного на многомерной самоорганизующейся нейронной карте Кохонена;
 - разработку алгоритма формирования вектора признаков образов объектов, основанного на текстурных признаках Харалика, энергетических характеристиках Лавса и нейронной сети, реализующей анализ главных компонент ((англ.) *principal component analysis*, PCA);
 - разработку алгоритма классификации образов, основанного на использовании древовидного бинарного классификатора и ИНС прямого распространения без обратных связей;
 - разработку алгоритма выбора структуры ИНС прямого распространения без обратных связей, основанного на генетическом алгоритме и грамматиках графовой генерации Китано;
 - разработку алгоритма классификации образов, основанного на использовании древовидного бинарного классификатора и машин опорных векторов;
 - разработку алгоритма поиска соответствий между образами, выделенными на спутниковом снимке и в дальнейшем классифицированными, и объектами на ЦКМ;
- разработку численного метода обучения моделируемой системы искусственного интеллекта.

Моделируемая система искусственного интеллекта состоит из следующих модулей:

- 1) модуль выделения на спутниковом снимке характерных образов (??);
- 2) модуль классификации характерных образов (??);
- 3) модуль поиска соответствий между образами, выделенными на спутниковом снимке, и объектами, присутствующими на ЦКМ (??).

$$H = separation(B); \quad (7)$$

$$C = classification(H, desc); \quad (8)$$

$$P_{raw\ equ} = conform(B, M, coord, C); \quad (9)$$

$$H = \{h\}; h \subset B;$$

$$C = \{c\}; c \subset H;$$

$$\forall c_m, c_n \in C; c_m \cap c_n = \emptyset;$$

$$v = desc(h); v = \{v_1, v_2, \dots, v_\theta\}; \forall v_\theta \in \mathbb{R}; \theta \in \mathbb{N}; \quad (10)$$

$$h_c \in c; h_c \in H.$$

Модуль *separation* описывает процесс выделения образов h объектов на спутниковом снимке B . Образы h формируют множество выделенных образов H . Модуль *separation* использует в своей работе многомерную нейронную карту Кохонена.

Множество образов H подается на вход модуля классификации *classification*. Кроме того, на вход модуля классификации подается функция *desc* (??), выполняющая расчет векторов признаков v для каждого из образов h , выделенных на спутниковом снимке. Результатом работы модуля *classification* является множество классов $C = \{c\}$. Классы не пересекаются друг с другом, то есть каждый образ h должен быть отнесен только к одному классу.

Функция *classification* описывает задачу построения регрессии (??):

$$\begin{aligned} d &= f(h, desc); \\ d &\in \mathbb{N}, \end{aligned} \quad (11)$$

где d - номер класса, к которому относится образ h .

Классификация выполняется по вектору признаков $v = desc(h)$ образа h , что позволяет говорить о задаче классификации как о задаче разбиения векторного пространства $V = \{v\}$, содержащего векторы признаков образов h , на непересекающиеся подмножества (классы).

Различные классификаторы, обучаемые с учителем, выполняют разбиение векторного пространства V на классы различными способами. Параметры разбиения рассчитываются по обучающему множеству образов H_{teach} - множеству заранее классифицированных образов h . Расчет параметров называется обучением классификатора. Качество выполненного обучения проверяется на тестовом множестве образов H_{test} - множестве заранее классифицированных образов h . Множества H_{teach} и H_{test} являются репрезентативными подмножествами множества $H_{teach\ test}$ заранее классифицированных образов h , причем выполняются условия: $H_{teach} \cap H_{test} = \emptyset$. Множества H_{teach} и H_{test} формируются случайной выборкой из $H_{teach\ test}$.

Для решения задачи классификации в настоящей диссертационной работе используются следующие простые (не составные) классификаторы:

- нейронная сеть прямого распространения без обратных связей;
- машина опорных векторов ((англ.) support vector machine, SVM).

Во второй главе показано, что простые классификаторы могут быть объединены в составные классификаторы, содержащие функциональные блоки комбинирования выходов отдельных классификаторов. Данное объединение позволяет повысить качество выполняемой классификации, поскольку обеспечивает упрощение отдельных задач классификации, решаемых простыми классификаторами. В настоящей диссертационной работе классификаторы объединяются в двоичное дерево.

Для формирования векторов признаков классифицируемых образов (функция *desc*) предлагается использовать методы, выполняющие расчет признаков текстур, покрывающих описываемые образы. Для расчета текстурных признаков в настоящей диссертационной работе используются следующие подходы:

- подход, основанный на расчете энергетических характеристик Лаваса;
- подход, основанный на расчете текстурных признаков Харалика.

Как правило размерность Θ пространства признаков является достаточно большой, что ведет к увеличению временной сложности процесса классификации, поэтому в диссертационной работе применяется понижение размерности пространства признаков с минимальными контролируемыми потерями информации, для чего используется преобразование Карунена - Лоева, матрица которого рассчитывается с помощью нейронной сети PCA ((англ.) principal component analysis, анализ главных компонент).

Множество классифицированных образов (множество классов) C подается на вход модуля *conform* (??). Модуль *conform* выполняет поиск соответствий между образами из классов C и объектами на ЦКМ M с использованием информации о классах образов и о положении образов на спутниковом снимке. Результатом выполнения модуля *conform* является множество пар совпадающих точек $P_{raw\ equ}$, по которым в дальнейшем выполняется расчет множества пар точек P_{equ} (??) и функции *comp'* (??).

Модуль *conform* реализует многоэтапный алгоритм, состоящий из поискового алгоритма и алгоритма вероятностной оценки соответствия образа h , выделенного на спутниковом снимке B , объектам ЦКМ M , расположенным вблизи точек $\{coord((i, j))\}; \forall b_{ij} \in h$.

Третья глава «Разработка алгоритма моделирования системы искусственного интеллекта, выполняющей совмещение данных ДЗЗ и ЦКМ с помощью контурного корреляционного совмещения, основанного на использовании нейросетевой ассоциативной памяти» содержит:

- разработку алгоритма моделирования системы искусственного интеллекта, выполняющей совмещение данных ДЗЗ и ЦКМ путем поиска корреляции между контурами образов, выделенных на спутниковом снимке, и границами объектов, присутствующих на ЦКМ;
- разработку следующих составных частей алгоритма моделирования:
 - разработку алгоритма предварительной обработки спутникового снимка с целью устранения на нем несущественных (прерывистых или слабых) контуров с использованием нейронной сети, реализующей анализ независимых компонент

- ((англ.) independent component analysis, ICA), фильтра низких частот и алгоритма деблюринга, основанного на фильтрации по Тихонову;
- разработку алгоритма выделения контуров на спутниковом снимке, основанного на использовании нелинейных ячеистых нейронных сетей ((англ.) non linear cellular neural network, NLCNN);
- разработку нейросетевого алгоритма выделения контуров на спутниковом снимке, основанного на использовании вейвлета Габора;
- разработку алгоритма поиска совпадений контуров образов на спутниковом снимке с границами объектов на ЦКМ с использованием ограниченной стохастической машины Больцмана ((англ.) restricted bolzmann machine, RBM).

Моделируемая система искусственного интеллекта состоит из следующих модулей:

- 1) модуль предварительной обработки спутникового снимка с целью устранения несущественных (слабых или прерывистых) контуров (??);
- 2) модуль выделения контуров на спутниковом снимке (??);
- 3) модуль описания контуров (??);
- 4) модуль поиска совпадений контуров образов на спутниковом снимке с границами объектов на ЦКМ (??).

$$B_{prp} = prepare(B); \quad (12)$$

$$B_{cnt} = contour(B_{prp}); \quad (13)$$

$$G = cdesc(B_{cnt}); \quad (14)$$

$$P_{raw\ equ} = correlation(M, G); \quad (15)$$

Исходный спутниковый снимок B поступает на вход модуля предварительной обработки $prepare$, результатом работы которого является изображение B_{prp} , на котором, в отличие от спутникового снимка B , отсутствуют несущественные (слабые или прерывистые) контуры. В качестве функции $prepare$ используется алгоритм, основанный на использовании нейронной сети, реализующей анализ независимых компонент, и на применении алгоритма антиалиасинга изображений, основанного на фильтре низких частот и алгоритме деблюринга с помощью фильтрации по Тихонову.

Модуль $contour$ принимает на свой вход B_{prp} , выполняет выделение контуров на изображении и возвращает контурную матрицу B_{cnt} , каждый пиксель $b_{cnt\ ij}$ которой содержит меру силы контура, проходящего через пиксель $b_{prp\ ij}$ исходного изображения B_{prp} . Под мерой силы контура в (??) понимается численная мера, принимающая значения из диапазона $[0; 1]$, где 0 соответствует отсутствию контура, а 1 максимально сильному контуру. В простейшем случае B_{cnt} является бинарной матрицей. Для выделения контуров в настоящей диссертационной работе используются нейросетевой алгоритм выделения контуров, основанный на использовании вейвлета Габора, и нейросетевой алгоритм выделения контуров, основанный на использовании нелинейных ячеистых искусственных нейронных сетей.

Контурная матрица B_{cnt} является входным параметром модуля описания контуров $cdesc$, выходным значением которого является множество G описаний g контуров, выделенных на изображении B_{prp} . Для описания контуров на изображении в настоящей диссертационной работе используется подход, основанный на составлении множества подматриц матрицы B_{cnt} фиксированного размера (множества окон), содержащих контур.

Множество G описаний контуров, выделенных на спутниковом снимке B , является одним из входных параметров модуля $correlation$. Другим входным параметром модуля $correlation$ является ЦКМ M . Модуль $correlation$ выполняет корреляционное совмещение спутникового снимка B с ЦКМ M , которое заключается в поиске соответствий между контурами, описания которых находятся в G , и границами объектов, присутствующих на ЦКМ M .

В качестве контурного коррелятора в настоящей диссертационной работе используется ограниченная стохастическая машина Больцмана, реализующая нейросетевую ассоциативную память. Машина позволяет получить высокоточный результат, что обусловлено ее способностью к запоминанию существенно большего количества образов по сравнению с концепциями адаптивно-резонансной теории, ИНС Хопфилда и ИНС Хемминга. Машина может быть эффективно реализована в вычислительной системе, поддерживающей параллельные вычисления.

Четвертая глава «Экспериментальные исследования возможности использования систем искусственного интеллекта, выполняющих совмещение спутниковых снимков и ЦКМ» содержит:

- описание комплекса программ, реализующих разработанные алгоритмы моделирования систем искусственного интеллекта и численные методы обучения данных систем;
- порядок проведения экспериментальных исследований: цели и задачи исследований, план эксперимента и описание методов обработки результатов эксперимента;
- результаты проведенных экспериментальных исследований;
- выводы по результатам проведенных экспериментальных исследований.

Алгоритмы моделирования систем искусственного интеллекта, численные методы настройки их параметров, численные методы обучения классификаторов, в совокупности выполняющие совмещение данных ДЗЗ и ЦКМ, разработанные в рамках настоящей диссертационной работы, были реализованы в составе следующих программных продуктов:

- программа совмещения данных ДЗЗ с ЦКМ с использованием искусственных нейронных сетей - программная библиотека и пользовательский интерфейс к ней;
- программный стенд тестирования алгоритмов предобработки и совмещения изображений;
- программа построения и уточнения карт гарей лесных массивов на основе данных ДЗЗ с использованием системы искусственного интеллекта.

Для каждого из перечисленных программных продуктов имеется свидетельство о его регистрации в ФГБУ «Федеральный институт промышленной собственности Федерального служб по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам» (ФГБУ «ФИПС» - РОСПАТЕНТ).

Разработка программных продуктов была выполнена на языках программирования C++ (стандарт C++11), Python 3, Lua, R с использованием программных библиотек и спецификаций GLibC, OpenCV, Qt 4, Qt 5, SDL, OpenGL, OpenMP, OpenCL. Целями экспериментального исследования являются:

- экспериментальное определение наилучших с временной точки зрения и точки зрения качества совмещения параметров алгоритма моделирования системы искусственного интеллекта, выполняющей совмещение данных ДЗЗ и ЦКМ путем поиска образов объектов, присутствующих на ЦКМ, на спутниковом снимке, с использованием древовидного классификатора и ИНС прямого распространения без обратных связей в качестве простого классификатора - данная цель достигнута в рамках эксперимента № 1;
- экспериментальное определение наилучших с временной точки зрения и точки зрения качества совмещения параметров алгоритма моделирования системы искусственного интеллекта, выполняющей совмещение данных ДЗЗ и ЦКМ путем поиска образов объектов, присутствующих на ЦКМ, на спутниковом снимке, с использованием древовидного классификатора и машины опорных векторов в качестве простого классификатора - данная цель достигнута в рамках эксперимента № 2;
- экспериментальное определение наилучших с временной точки зрения и точки зрения качества совмещения параметров алгоритма моделирования системы искусственного интеллекта, выполняющей совмещение данных ДЗЗ и ЦКМ путем поиска корреляции между контурами образов, выделенных на спутниковом снимке, и границами объектов, присутствующих на ЦКМ - данная цель достигнута в рамках эксперимента № 3;
- сравнение временных показателей и показателей качества совмещения, выполненного с помощью систем искусственного интеллекта, описанных в настоящей диссертационной работе, и совмещения, выполненного рядом существующих распространенных алгоритмов - данная цель достигнута в рамках эксперимента № 4;
- оценка пригодности использования разработанных алгоритмов моделирования и численных методов обучения систем искусственного интеллекта для выполнения высокоточного оперативного совмещения данных ДЗЗ и ЦКМ.

Экспериментальное исследование было проведено с использованием вычислительного кластера, организованного по технологии Message passing interface (MPI), с применением программного комплекса OpenMPI. Для уменьшения временных затрат на проведение экспериментального исследования каждый хост использовал мощности видеопроцессора, имевшегося в составе соответствующей вычислительной системы, для дополнительного распараллеливания части вычислений с помощью технологии GPGPU. Для проведения экспериментальных исследований было сформировано множество $T_{global\ test} = \{t_{global\ test}\}$ тестовых примеров $t_{global\ test} = \langle B_{test}, M_{test}, P_{test}, v_{offset} \rangle$, где:

- B_{test} - спутниковый снимок, $B_{test} \in \hat{B}_{test}$; источник - сенсор «Thematic mapper», установленный на КА «Landsat 5»;
- M_{test} - ЦКМ; источник - проект OpenStreetMaps;
- P_{test} - множество пар реперных точек, одна из которых отмечена на B_{test} , а другая - на M_{test} ;

- $v_{offset} = \{v_{removal}, v_{rotate}, v_{scale}\}$ - вектор, описывающий геометрическое смещение $B_{test\ offset} = offset(B_{test}, v_{offset})$ изображения $B_{test\ offset}$, где:
 - $v_{removal}$ - смещение в метрах;
 - v_{rotate} - угол поворота вокруг центра спутникового снимка относительно оси ОХ в радианах;
 - v_{scale} - масштабный коэффициент линейного преобразования координат, безразмерная величина.

Множество $T_{global\ test}$ было составлено, исходя из следующих соображений.

Множество $T_{global\ test}$ должно содержать репрезентативное представление всех возможных состояний окружающей среды, поскольку вариации спектральных яркостей и текстурных характеристик образов одной и той же сцены на спутниковых снимках зависят в наибольшей степени именно от этого.

Множество $T_{global\ test}$ должно являться репрезентативным представлением генеральной совокупности векторов v_{offset} , которые могут быть теоретически скорректированы предложенными системами искусственного интеллекта.

Мощность генеральной совокупности векторов v_{offset} была оценена как $N_{offset\ max} \approx 50267$ и, поскольку $N_{offset\ max} \gg |\hat{B}_{test}|$, то $|T_{global\ test}| = N_{offset\ max} = 50267$. В качестве входных параметров экспериментов были выбраны следующие параметры.

- Эксперименты №№ 1 и 2 - множество $H_{teach\ test} = H_{teach} \cup H_{test}$, содержащее в себе заранее классифицированные образы, выделенные на спутниковых снимках B_{test} . Множество $H_{teach\ test}$ было использовано для обучения и тестирования качества обучения классификаторов.
- Эксперимент № 1 - $v_{param} = \{s_{kohonen}, T_{info}, \Psi, T_{ann\ E\ max}\}$, где:
 - $s_{kohonen}$ - размер нейронной карты Кохонена по каждой из размерностей;
 - T_{info} - минимальный объем информации, сохраняемый в классифицируемом векторном пространстве в результате преобразования Карунена-Лоева;
 - Ψ - количество шагов развертки грамматики графовой генерации Китано;
 - $T_{ann\ E\ max}$ - максимальный уровень ошибки на тестовом множестве векторов H_{test} , при котором генетический алгоритм выбора структуры ИНС прямого распространения без обратных связей останавливается.
- Эксперимент № 2 - $v_{param} = \{s_{kohonen}, T_{info}, C_{svm}\}$, где C_{svm} суть есть параметр обучения машин опорных векторов, определяющий верхнюю границу поиска множителей Лагранжа в ходе оптимизации функции Лагранжа.
- Эксперимент № 3 - $v_{param} = \{S_{contour\ size}, S_{rbm\ visible}, S_{rbm\ hidden}\}$, где:
 - $S_{contour\ size}$ - размер окна выделения контуров ($S_{contour\ size} = M^t = N^t$ для нелинейной ячеистой нейронной сети и $S_{contour\ size} = S_{gabor\ filter}$ для нейросетевого алгоритма выделения контуров, основанного на использовании вейвлета Габора);
 - $S_{rbm\ visible}$ - количество нейронов видимого слоя ограниченной стохастической машины Больцмана;
 - $S_{rbm\ hidden}$ - количество нейронов скрытого слоя ограниченной стохастической машины Больцмана.

Общими выходными параметрами экспериментов являются:

- время выполнения совмещения (без учета времени обучения модели) с точностью до 1-ой миллисекунды;
- качество выполненного совмещения E , оцененное по (??) и усредненное по $T_{global\ test}$, с точностью до 1-го метра.

В таблице ?? приведены результаты экспериментального сравнения временных показателей и показателей качества совмещения, выполненного с помощью предложенных систем искусственного интеллекта, и совмещения, выполненного рядом существующих распространенных алгоритмов.

В таблице ?? используются следующие обозначения:

- FF - обозначает алгоритм моделирования системы искусственного интеллекта, выполняющей совмещение данных ДЗЗ и ЦКМ путем поиска образов объектов, присутствующих на ЦКМ, на спутниковом снимке, с использованием древовидного классификатора и ИНС прямого распространения без обратных связей в качестве простого классификатора;
- SVM - обозначает алгоритм моделирования системы искусственного интеллекта, выполняющей совмещение данных ДЗЗ и ЦКМ путем поиска образов объектов, присутствующих на ЦКМ, на спутниковом снимке, с использованием древовидного классификатора и машины опорных векторов в качестве простого классификатора;

- RBM - обозначает алгоритм моделирования системы искусственного интеллекта, выполняющей совмещение данных ДЗЗ и ЦКМ путем поиска корреляции между контурами образов, выделенных на спутниковом снимке, и границами объектов, присутствующих на ЦКМ.

Таблица 1 - Результаты эксперимента № 4

Метод / алгоритм совмещения	Оценка качества совмещения <i>E</i> (метры / пиксели)	Оценка времени совмещения (секунды)
FF	1,546 / 0,052 1,341 / 0,045	1,212 0,755
SVM	1,088 / 0,036 1,512 / 0,050	2,139 0,755
RBM	1,678 / 0,056 1,821 / 0,061	1,340 0,781
Корреляционно-экстремальный метод	60,817 / 2,027	2,091
Метод стабилизации изображений, основанный на преобразовании Фурье	121,361 / 4,045	1,981
Метод, основанный на поиске на спутниковом снимке и ЦКМ особых точек с помощью детектора SIFT	91,421 / 3,047	15,438
Метод, основанный на поиске на спутниковом снимке и ЦКМ особых точек с помощью детектора SURF	81,471 / 2,716	17,201
Метод, основанный на поиске на спутниковом снимке и ЦКМ особых точек с помощью детектора Харриса	75,941 / 2,531	14,261

В **заключении** диссертационной работы сформулированы основные научные результаты, полученные в ходе решения поставленной научно-технической задачи, связанной с развитием и совершенствованием технологии автоматического оперативного высокоточного совмещения данных ДЗЗ и ЦКМ с помощью методов, основанных на применении систем искусственного интеллекта, формализованных методов и алгоритмов моделирования данных систем, численных методов обучения данных систем, комплексов программ, реализующих данные системы. В заключении содержатся рекомендации по возможному применению полученных результатов для решения задач совмещения, возникающих в ходе дешифрирования данных ДЗЗ, автоматического картографирования и уточнения существующих ЦКМ с использованием ГИС общего и специального назначения.

Список публикаций по теме диссертации

Статьи в изданиях, включенных в список ВАК

1. Акинин М.В., Лапина Т.И., Никифоров М.Б. Нейросетевой алгоритм выделения контуров на изображениях, основанный на вейвлете Габора. // Известия Тульского государственного университета (технические науки). Выпуск 9 (часть 1). - Тула: Тульский государственный университет. - 2013. - С. 208 – 217.

2. Акинин М.В., Акинина Н.В., Никифоров М.Б. Нейросетевой способ фильтрации аддитивного шума на изображениях, основанный на применении анализа независимых компонент. // Информационные и телекоммуникационные технологии № 20. - М.: Международная академия наук информации, информационных процессов и технологий. - 2013. - С. 62 — 65.
3. Червяков Л.М., Акинин М.В. Нейросетевой алгоритм уточнения векторных топографических карт по данным дистанционного зондирования Земли. // Известия Юго-Западного государственного университета № 6 (51), часть 2. - Курск: Юго-Западный государственный университет. - 2013. - С. 32 - 40.
4. Акинин М.В., Акинина Н.В., Никифоров М.Б. Применение метода независимых компонент для разделения полезного сигнала и аддитивного шума. // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета № 1 (выпуск 47) 2014 г. - Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет. - 2014. - С. 33 — 37.

Статьи в изданиях, включенных в список РИНЦ

5. Акинин М.В., Конкин Ю.В. Нейросетевой способ составления карт гарей лесных массивов по данным дистанционного зондирования Земли. // Методы и устройства передачи и обработки информации. Выпуск 1 (14). - Владимир: Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых. - 2012. - С. 37 — 45.

Статьи в научно-технических журналах и межвузовских сборниках научных трудов

6. Акинин М. Автоматизация операций векторизации растровых графических изображений с помощью библиотек OpenCV и OGR языка программирования C. // Методы и средства обработки и хранения информации: межвузовский сборник научных трудов. - Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет. - 2010. - С. 28 — 39.
7. Конкин Ю.В., Акинин М.В. Особенности обучения машины опорных векторов в задачах формирования карт лесов. // Методы и средства обработки и хранения информации: межвузовский сборник научных трудов. - Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет. - 2010. - С. 133 — 143.
8. Акинин М.В., Конкин Ю.В. Технология тематического дешифрирования спутниковых изображений на основе машины опорных векторов. // Информатика и прикладная математика: межвузовский сборник научных трудов. - Рязань: Рязанский государственный университет. - 2010. - С. 44 — 48.
9. Конкин Ю.В., Акинин М.В. Применение искусственных нейронных сетей для решения задач уточнения топографических карт. // Методы и средства обработки и хранения информации: межвузовский сборник научных трудов. - Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет. - 2011. - С. 10 — 17.
10. Акинин М.В., Конкин Ю.В. Подбор параметров функционирования машины опорных векторов с помощью генетического алгоритма. // Математическое и программное обеспечение вычислительных систем: межвузовский сборник научных трудов. - Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет. - 2011.- С. 44 — 50.
11. Акинин М.В., Конкин Ю.В. Исследование подходов к обучению многослойного перцептрона. // Методы и средства обработки и хранения информации: межвузовский сборник научных трудов. - Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет. - 2012. - С. 20 — 26.
12. Акинин М.В. Исследование подходов к обучению многослойного перцептрона для решения задач различных классов. // Математическое и аппаратное обеспечение и администрирование компьютерных систем и сетей: межвузовский сборник научных трудов молодых ученых, аспирантов и студентов. - Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет. - 2012. - С. 4 — 5.
13. Акинин М.В., Конкин Ю.В. Нейросетевой способ составления карт гарей лесных массивов по данным дистанционного зондирования Земли. // Информатика и прикладная математика: межвузовский сборник научных трудов. - Рязань: РГРТУ. - 2012. - С. 51 — 57.

Тезисы докладов на международных конференциях

14. Акинин М.В., Конкин Ю.В. Применение искусственных нейронных сетей для решения задач уточнения топографических карт. // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике: сборник статей XI Международной научно-технической конференции. - Пенза: Приволжский Дом знаний. - 2011. - С. 165 — 169.
15. Акинин М.В., Логинов А.А., Никифоров М.Б.. Способы описания текстур в задачах построения топографических карт. // Материалы XI Международной научно-технической конференции «АВИА — 2013» (том 4). - Украина, Киев: НАУ. - 2013. - С. 27.36 — 27.40.

16. Akinin M.V., Konkin Y.V., Nikiforov M.B. Using Kitano's grammar encoding for finding optimal multilayer artificial neural network without feedback in image processing problems. // Science and Education: Materials of the III International research and practice conference (vol. I). Germany, Munich: Vela Verlag Waldkraiburg. - 2013. pp. 82 — 88.
17. Akinin M.V., Nikiforov M.B. Edge detection algorithm based on non linear cellular neural networks. // 11th International Conference on Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies (PRIA-11-2013; vol. I). - Russia, Samara. - 2013. - pp. 143 – 146.
18. Акинин М.В., Никифоров М.Б. Нейросетевой алгоритм совмещения векторных карт и спутниковых снимков. // 6-я международная научно-техническая конференция «Космонавтика. Радиоэлектроника. Геоинформатика». - Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет. - 2013. - С. 272 – 274.
19. Акинин М.В. Нейросетевой алгоритм совмещения спутниковых снимков и цифровых карт местности, основанный на использовании сверточной нейронной сети ЛеКуна. // Вторая международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли». - М.: ОАО «Корпорация ВНИИЭМ». - 2014. - С. 114 — 116.
20. Соколова А.В., Акинин М.В., Никифоров М.Б. Алгоритм антиалиасинга текстур виртуальной модели местности, основанный на методах деблюринга изображений. // Mezinardni vedecka a prakticka konference «World & Science». - Чехия, Брно. - 2014.
21. Акинина Н.В., Акинин М.В., Никифоров М.Б. Применение нейросетевых методов анализа главных компонент при решении задач обработки данных дистанционного зондирования Земли. // Mezinardni vedecka a prakticka konference «World & Science». - Чехия, Брно. - 2014.
22. Akinin M., Nikiforov M., Taganov A. Automated Combining Remote Sensing Data and Digital Maps, Based on Non-linear Cellular Neural Network and Boltzmann's Restricted Stochastic Machine. // 3rd Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO-2014). - Montenegro, Budva. - 2014. - pp. 144 - 147.

Тезисы докладов на всероссийских конференциях

23. Акинин М.В. Использование генетического алгоритма для выбора параметров функционирования машины опорных векторов. // Новые информационные технологии в научных исследованиях: материалы XVI Всероссийской научной-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. - Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет. - 2011. - С. 198 — 199.
24. Акинин М.В. Грамматики графовой генерации Китано в задачах поиска оптимальной структуры нейронной сети прямого распространения. // Новые информационные технологии в научных исследованиях: материалы XVII Всероссийской научной-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. - Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет. - 2012. - С. 222.
25. Акинин М.В. Алгоритм совмещения спутниковых снимков и цифровых карт местности, основанный на искусственных нейронных сетях прямого распространения без обратных связей. // Московская молодежная научно-практическая конференция «Инновации в авиации и космонавтике — 2014». - М.: ООО «Принт-салон». - 2014. - С. 130 — 131.

Акинин Максим Викторович

**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО СОВМЕЩЕНИЯ ДАННЫХ
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ И ЦИФРОВЫХ КАРТ
МЕСТНОСТИ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать . Формат бумаги 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,0.

Тираж 100 экз.

Рязанский государственный радиотехнический университет.

390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1.

Редакционно-издательский центр РГРТУ.