

На правах рукописи



АКИНИНА НАТАЛЬЯ ВИКТОРОВНА

**Интеллектуальные алгоритмы формирования
карт и моделей местности для производства
составных частей бортовых дисплеев
гражданской авиации**

Специальность 05.13.01 —
«Системный анализ, управление и обработка
информации
(в промышленности)»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Тверь - 2017

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет» (ФГБОУ ВО «ТвГУ») и ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет» (ФГБОУ ВО «РГРТУ»).

Научный руководитель: **Никифоров Михаил Борисович**,
кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Безуглов Дмитрий Анатольевич**,
доктор технических наук, профессор, заместитель директора (по научной работе), Ростовский филиал государственного казенного образовательного учреждения высшего образования «Российская таможенная академия»

Багаев Дмитрий Викторович,
кандидат технических наук, доцент, заместитель начальника отдела, АО «ВНИИ «Сигнал», г. Ковров, Владимирская область

Ведущая организация: **ФГБОУ ВО «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова»**, Ярославль.

Защита состоится 02.03.2018 г. в 14 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 212.262.06 в ФГБОУ ВО «ТвГТУ» по адресу: **170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, 22.**

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Тверского государственного технического университета и на сайте www.tstu.tver.ru.

Автореферат разослан « » г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор физико-математических наук,
профессор

С.М. Дзюба

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Распознавание образов в задачах анализа данных дистанционного зондирования Земли (данные ДЗЗ) в настоящее время является актуальной задачей, что подтверждается востребованностью распознавания при решении следующих задач обработка данных ДЗЗ:

- задачи автоматического и полуавтоматического уточнения топографических карт по актуальным данным ДЗЗ;
- задачи построения высокоточных детализированных карт местности;
- задачи обработки данных ДЗЗ и их привязки к конкретной системе координат по данным о положении и ориентации космического аппарата, сделавшего снимок.

Разработка новых подходов к распознаванию образов на данных ДЗЗ позволит повысить оперативность и уровень автоматизма решения перечисленных задач.

Анализ публикаций в области теории и практики распознавания образов на изображениях позволяет говорить о необходимости разработки подхода к распознаванию образов, который позволил бы:

- в существенной степени автоматизировать процесс распознавания образов;
- снизить временные затраты на выполнение распознавания образов;
- автоматически контролировать качество распознавания образов.

Сложность задачи распознавания образов возрастает в ситуациях, требующих оперативного распознавания, так как появляется строгое ограничение по времени, которое может быть не достижимо для существующих полуавтоматических методов и алгоритмов.

В данной диссертационной работе исследуются системы искусственного интеллекта и разрабатываются алгоритмы распознавания образов на изображениях и алгоритмы описания пространства признаков образов, реализующие в совокупности процесс распознавания образов на изображениях, обладающие перечисленными достоинствами.

Актуальность результатов диссертационной работы подтверждается также востребованностью результатов на производстве, а именно внедрением на следующих предприятиях:

- АО «Государственный Рязанский Приборный Завод» - результаты работы применяются для разработки и производства составных частей бортовых дисплеев комплексов улучшенного видения гражданской авиации.
- ООО «Кристалл-Техника» - результаты работы применяются на основе лицензионных договоров для производства экспериментальных образцов аппаратно-программного комплекса синтезированного видения бортовых дисплеев гражданской авиации.

Степень разработанности темы

Исследованию научных вопросов, связанных с обработкой изображений, посвящены работы известных отечественных и зарубежных ученых. Большой вклад в развитие научных исследований в этой области внесли: Визильтер Ю.В., Джанджгава Г.И., Евтушенко Ю.Г., Еремеев В.В., Желтов С.Ю., Кузин Л.Т., Сергеев В.В., Сойфер В.А., Федотов Н.Г. и другие. Значительное внимание этой проблеме уделяют и зарубежные ученые: Башков Е., Блейхут Р., Гилл Ф., Понс Ж., Прэтт У., Форсайт Д., Фукунага К.

Базовый 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., Кохонен Т., ЛеКун Я., Осовский С., Платт Д., Розенблатт Ф., Фукушима К., Хайкин С., Харалик Р.М., Червоненкис А.Я., и другие.

В данной диссертационной работе приведены разработанные автором алгоритмы распознавания образов на изображениях и понижения размерности пространства признаков классифицируемых образов.

Цель работы

Целью диссертационной работы является снижение временных затрат и повышение качества построения карт местности по результатам анализа данных ДЗЗ путем разработки интеллектуальных алгоритмов распознавания образов на изображениях.

Основные задачи исследования

Цель диссертационного исследования предопределила постановку и необходимость решения следующих задач.

- 1) На основе анализа проблемы построения высокоточных детализированных карт местности выработать требования к алгоритмам распознавания образов на изображениях.
- 2) Разработать алгоритм распознавания образов, основанный на применении древовидного нейросетевого классификатора, использующего нейронные сети прямого распространения без обратных связей в качестве простых классификаторов.
- 3) Разработать алгоритм описания пространства признаков образов объектов, основанный на применении текстурных признаков Харалика и анализа главных компонент (англ. principal component analysis, PCA), применимый для сокращения размерности пространства признаков в задаче распознавания образов.
- 4) Разработать алгоритм описания пространства признаков образов, основанный на применении энергетических текстурных характеристик Лавса и автоэнкодера, применимый для сокращения размерности пространства признаков в задаче распознавания образов.
- 5) Разработать программный комплекс, реализующий предложенные алгоритмы.
- 6) Провести экспериментальные исследования предложенных алгоритмов с целью сравнения временных и точностных характеристик предложенных алгоритмов с существующими решениями.

Научная новизна

В диссертационной работе предложены эффективные алгоритмы решения поставленных задач, научная новизна которых состоит в следующем.

- 1) Разработан алгоритм распознавания образов на изображениях, в котором применены алгоритмы нечетких с-средних для сегментации изображений и древовидного нейросетевого классификатора для классификации образов, в узлах которого находятся простые классификаторы - нейронные сети прямого распространения без обратных связей, что позволяет добиться улучшения точности выделения образов объектов на изображении за счет наличия нечетких границ между выделяемыми образами и введения вариативной функции определения границ образов и улучшения способности классификатора к обобщению информации за счет разделения задачи классификации на набор подзадач, каждая из которых представляет собой бинарную классификацию достаточно различимых классов. Данный алгоритм был разработан в ходе научной работы в ФГБОУ ВО ТвГУ.
- 2) Разработан алгоритм описания пространства признаков образов объектов, в котором применены текстурные признаки Харалика и нейронная сеть, реализующая анализ главных компонент, что позволяет снизить временную сложность процесса распознавания образов за счет контролируемого удаления из обучающей выборки информации, несущественной с точки зрения анализа главных компонент. Данный алгоритм был разработан в ходе научной работы в ФГБОУ ВО ТвГУ.
- 3) Разработан алгоритм описания пространства признаков образов объектов, в котором применены энергетические текстурные характеристики Лавса и автоэнкодер, что позволяет снизить временную сложность процесса построения карт местности при примерно одинаковой точности дальнейшего распознавания образов за счет уменьшения размерности пространства признаков. Данный алгоритм был разработан в ходе научной работы в ФГБОУ ВО РГРТУ.

Соответствие паспорта специальности

Проблематика, исследованная в диссертации, соответствует специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации». Согласно формуле специальности 05.13.01 — это специальность, занимающаяся проблемами разработки и применения методов системного анализа сложных прикладных объектов исследования, обработки информации, целенаправленного воздействия человека на объекты исследования, включая вопросы анализа, моделирования, оптимизации, совершенствования управления и принятия решений, с целью повышения эффективности функционирования объектов исследования. Данная диссертационная работа соответствует формуле специальности, поскольку содержит в себе разработку алгоритмов распознавания образов, разработку алгоритмов представления плохо структурированных пространств признаков образов на изображениях, разработку алгоритмов анализа зако-

номерностей в плохо структурированном пространстве признаков образов на изображении, применяемых в сложных прикладных объектах, коими являются геоинформационные системы общего и узкоспециализированного назначения.

Проблематика диссертации соответствует областям исследований:

- пункт 4 формулы специальности - разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации;
- пункт 5 формулы специальности - разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации;
- пункт 12 формулы специальности - визуализация, трансформация и анализ информации на основе компьютерных методов обработки информации.

Теоретическая значимость работы

Теоретическая значимость работы заключается в исследовании и разработке алгоритма распознавания образов, основанного на применении древовидного нейросетевого классификатора, использующего нейронные сети прямого распространения без обратных связей в качестве простых классификаторов, алгоритмов описания пространства признаков образов объектов, основанных на применении текстурных признаков Харалика и РСА, алгоритмов описания пространства признаков образов объектов, основанных на применении энергетических текстурных характеристик Лаваса и автоэнкодера. В совокупности, разработанные алгоритмы позволяют снизить временные затраты и увеличить точность построения высокоточных детализированных карт местности путем применения интеллектуальных подходов к распознаванию образов в задачах обработки данных ДЗЗ.

Практическая ценность работы

Практическая ценность диссертационной работы состоит в том, что разработанный алгоритм распознавания образов на изображениях, описания пространства признаков образов объектов, позволяют в составе геоинформационных систем (ГИС) общего и специального назначения повысить временную эффективность процесса и точность построения высокоточных детализированных карт местности путем применения интеллектуальных подходов к распознаванию образов на изображениях, что отражается в повышении эффективности и точности решения различных задач дешифрации данных ДЗЗ, к которым относятся задачи автоматического картографирования, задачи уточнения цифровых карт местности (ЦКМ) и некоторые другие.

Разработанные алгоритмы применяются в составе отдельных геоинформационных модулей бортовых систем улучшенного и синтезированного видения гражданской авиации, позволяющих уточнять положение летательного аппарата и ситуативную обстановку по результатам анализа данных ДЗЗ, заранее загруженных в память бортовых систем, и данных, поступающих от телевизионных и тепловизионных камер, уста-

новленных на борту летательного аппарата. Применение разработанных алгоритмов в составе бортовых систем позволяет увеличить точность построения улучшенного и синтезированного изображений на дисплее пилота, снизить временные характеристики построения изображения на дисплее, что приводит к повышению оперативности принятия решений пилотом и, следовательно, к повышению безопасности полетов.

Применение результатов работы на производстве

Результаты диссертационной работы были успешно внедрены на производстве следующими предприятиями.

- АО «Государственный Рязанский Приборный Завод» - результаты работы применяются для разработки и производства составных частей бортовых дисплеев комплексов улучшенного видения гражданской авиации.
- ООО «Кристалл-Техника» - результаты работы применяются на основе лицензионных договоров для производства экспериментальных образцов аппаратно-программного комплекса синтезированного видения бортовых дисплеев гражданской авиации.

Методы и методология исследования

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

Корректность теоретически найденных закономерностей и решений проверялась вычислительными экспериментами и практическим применением результатов исследований в условиях реальной проектной деятельности.

Основные положения, выносимые на защиту

На защиту выносятся следующие результаты диссертационной работы.

- 1) Алгоритм распознавания образов на изображениях (данных ДЗЗ), основанный на применении древовидного нейросетевого классификатора, использующего нейронные сети прямого распространения без обратных связей в качестве простых классификаторов.
- 2) Алгоритмы описания пространства признаков образов объектов на изображениях (данных ДЗЗ), основанные на применении текстурных признаков Харалика и РСА.
- 3) Алгоритмы описания пространства признаков образов объектов на изображениях (данных ДЗЗ), основанные на применении энергетических текстурных характеристик Лавса и автоэнкодера.
- 4) Программный комплекс, реализующий информационную модель процесса распознавания образов и перечисленные алгоритмы.

Достоверность и апробация результатов

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

- корректным использованием понятий и выводов теории искусственного интеллекта, теории машинного обучения, теории оптимизации, теории обработки изображений (компьютерного зрения);
- апробацией предложенных алгоритмов распознавания образов на изображениях, алгоритмов описания пространства признаков образов изображений на конкретных примерах и в прикладных задачах;
- разработкой действующего программного комплекса, реализующего информационную модель процесса распознавания образов и перечисленных алгоритмов, подтвержденного свидетельством об официальной регистрации;
- наличием актов внедрения результатов диссертационной работы.

Личный вклад автора

Все результаты диссертационной работы, в том числе постановка задач, разработка и результаты исследования защищаемых алгоритмов распознавания образов на изображениях и алгоритмов описания пространства признаков образов, основные научные результаты, выводы и рекомендации, принадлежат лично автору.

Программный комплекс, реализующий информационную модель процесса распознавания образов и предложенные алгоритмы, разработан под руководством и при непосредственном участии автора.

Работы, выполненные в соавторстве, посвящены общей постановке проблемы, концепции ее решения, предложенной автором, конкретизации разработанных алгоритмов распознавания образов на изображениях и алгоритмов описания пространства признаков образов изображений для ряда подзадач, решаемых в процессе построения высокоточных детализированных 2-х мерных и 3-х мерных карт и моделей местности, разработке отдельных программных средств.

Апробация работы

Основные результаты работы докладывались на 13 научно-технических конференциях, в том числе 4rd Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO-2015; Черногория, Будва, 2015 г.), 5th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO-2016; Черногория, Бар, 2016 г.), Mezinarodni vedecka a prakticka konference «World & Science» (Чехия, Брно, 2013 г.), XXVIII Международная научная конференция «Математические методы в технике и технологиях» (ММТТ-28; Рязань, РГРТУ, 2015 г.), Международная научно-техническая конференция «Перспективные информационные технологии» (ПИТ-2015; Самара, 2015 г.), XV Международная конференция молодых ученых «Леса Евразии — Большой Алтай» (Барнаул, 2016 г.), Международная научно-техническая и научно-методическая конференция «Современные технологии в науке и образовании» (СТНО-2016; Рязань, РГРТУ, 2016 г.).

Публикации

По теме диссертации опубликовано 27 печатных работ (в том числе 8 работ в журналах, входящих в перечень ВАК для кандидатских и докторских диссертаций, а также 11 публикаций в изданиях, индексируемых

в БД Scopus). Получен 1 патент на изобретения, 1 патент на полезную модель, 6 свидетельств о регистрации программного продукта.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, 2-х приложений. Список литературы содержит 66 наименований. **Общий объем работы составляет 149 страниц.**

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность исследований, проводимых в рамках данной диссертационной работы, сформулированы цель работы, научная новизна, содержатся сведения о практическом использовании научных результатов и представлены основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава «Исследование математической модели процесса распознавания образов» содержит:

- формализованное представление алгоритма построения карт местности и распознавания образов на изображениях;
- определение численного алгоритма оценки качества построения карт местности;
- обзор существующих методов и алгоритмов распознавания образов на изображениях (в частности, существующих методов и алгоритмов описания пространства признаков образов);
- общее описание алгоритма компьютерного зрения, выполняющего построение карт местности.

В первой главе приведены результаты анализа существующих методов и алгоритмов построения карт местности и, в частности, методов и алгоритмов распознавания образов. Выполненный анализ позволил выявить следующие недостатки существующих подходов к решению задач диссертационного исследования:

- существенная временная сложность методов и алгоритмов;
- полуавтоматизм существующих решений, связанный с необходимостью ручной настройки методов и алгоритмов;
- низкий уровень обобщения методов и алгоритмов — необходимость точечной настройки методов и алгоритмов под каждый класс задач;
- низкая точность картографирования местности, нехарактерной (не имеющей соответствующий набор настроек) для конкретного подхода, связанная с низким уровнем обобщения.

Исследования, проводимые в рамках подготовки данной диссертационной работы, направлены на минимизацию влияния перечисленных недостатков на разрабатываемые алгоритмы.

Укрупненная схема алгоритма распознавания образов в контексте решения задачи построения карт местности приведена на рисунке 1.

Входными данными алгоритма является изображение $B = \{b_{ij}\}$; $b_{ij} = \{b_{ijk}\}$; $i \in [1, I]$; $j \in [1, J]$; $k \in [1, K]$, где b_{ijk} - пиксель в i -ой строке, j -ом



Рисунок 1 – Схема алгоритма формирования ЦКМ по данным ДЗЗ.

столбце, b_{ijk} - спектральная яркость пикселя в k -ом спектральном канале, K - количество спектральных каналов.

Процесс распознавания образов состоит из следующих этапов.

1) Предобработка.

Пространственная, радиометрическая и прочие коррекции изображения.

2) Сегментация.

На данном этапе на изображении выделяются образы объектов, которые будут в дальнейшем классифицированы. По результатам выполненных исследований в качестве алгоритма сегментации был выбран модифицированный алгоритм нечетких k -средних.

Результатом выполнения данного этапа является множество F (1).

$$\begin{aligned}
 F &= \{f_q\}; \\
 f_q &\subset B; f_q \cap f_w \neq \emptyset \Leftrightarrow q = w \\
 f_q &\text{ - связное множество}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где f_q - образ, выделенный на изображении B .

3) Описание образов.

Для дальнейшего классифицирования образов F выполняется расчет векторов признаков образов: $F \rightarrow V$.

Данный этап состоит из двух подэтапов.

3.1) Формирование векторного пространства признаков: $F \rightarrow V'$, для чего предложено использовать текстурные признаки Харалика и энергетические характеристики Лавса.

3.2) Анализ векторного пространства V' и сокращение его размерности: $V' \rightarrow V$; $\dim(V') \gg \dim(V)$, для чего предложено использовать нейронную сеть, реализующую метод анализа главных компонент, и автоэнкодер.

Данный этап крайне важен для точности распознавания образов, поскольку позволяет существенно сократить размерность пространства признаков, анализируемого классификатором, и, таким образом, снизить временные затраты на обучение и работу классификатора.

- 4) Классификация образов, для чего предложено использовать древовидный нейросетевой классификатор, основанный на применении нейронных сетей прямого распространения без обратных связей в качестве простых классификаторов: $V \rightarrow R$; $R = \{r_q\}$, где r_q - индекс класса, к которому принадлежит q -ый объект f_q .
- 5) Визуализация результатов распознавания путем построения результирующей карты местности: $B, F, R \rightarrow M$, где M - растровое изображение карты местности.

В первой главе были проанализированы существующие методы и алгоритмы картографирования местности и распознавания образов на данных ДЗЗ, были выявлены их недостатки, а также был предложен подход, позволяющий минимизировать влияние данных недостатков.

Вторая глава «Разработка алгоритма распознавания образов на данных ДЗЗ, основанного на применении древовидного нейросетевого классификатора» содержит описание алгоритмов распознавания образов на изображениях, основанного на применении древовидного нейросетевого классификатора, использующего нейронные сети прямого распространения без обратных связей в качестве простых классификаторов.

В качестве классификатора в рамках настоящей диссертационной работы предлагается использовать сложный классификатор, состоящий из набора простых (бинарных) классификаторов.

Каждый простой классификатор (x, y) выполняет разбиение $H \rightarrow \dot{H} \cup \check{H}$; $\dot{H} \cap \check{H} = \emptyset$. Разбиения продолжаются до тех пор, пока не будет достигнут сток дерева. Как только классифицируемый образ достигает стока, образ становится отнесенным к одному из классов c ; $c \in [1, C]$ и, таким образом, $class(f_q) = r_q = c$.

Простые классификаторы являются нейронными сетями прямого распространения без обратных связей, обучаемыми с помощью алгоритма сопряженных градиентов. Архитектура данных сетей определяется с помощью модифицированного алгоритма имитации отжига.

Описанный способ распознавания образов показывает хорошие результаты, но ввиду избыточности обрабатываемой информации не обладает приемлемыми скоростными показателями, поэтому необходимо предусмотреть способ уменьшения размерности пространства признаков образов, что позволит улучшить временные характеристики, сохраняя при этом приемлемое качество обработки.

Третья глава «Разработка алгоритмов описания пространства признаков образов изображений с целью усовершенствования алгоритма распознавания образов на данных ДЗЗ» содержит:

- разработку алгоритма описания пространства признаков образов на изображениях, основанного на применении текстурных признаков Харалика и нейронной сети, реализующей метод анализа главных компонент;
- разработку алгоритма описания пространства признаков образов изображений, основанных на применении энергетических текстурных характеристик Лавса и автоэнкодера.

Важным этапом распознавания образов является этап описания, на котором каждому образу ставится в соответствие некоторый вектор признаков: $F \rightarrow V$. Вектора признаков, таким образом, формируют векторное пространство признаков V . От качества описания образов, размерности пространства признаков, его свойств напрямую зависят временная сложность и качество процесса распознавания образов. В данной главе рассматриваются два подхода к описанию образов.

Первый подход основан на применении текстурных признаков Харалика и нейронной сети, реализующей метод анализа главных компонент.

Достоинствами текстурных признаков Харалика являются их большая информативность и большая гибкость характера описания по сравнению с рассмотренными подходами. Недостатком текстурных признаков Харалика является их меньшая компактность, по сравнению с энергетическими характеристиками Лавса, что объясняется необходимостью расчета одних и тех же характеристик для нескольких матриц вхождений.

Чтобы избавиться от описанного недостатка необходимо уменьшить пространство признаков, потеряв при этом наименьшее количество информации, для чего в настоящей диссертации применяется метод анализа главных компонент ((англ.) principal component analysis, PCA). Анализ главных компонент является способом понижения размерности векторного пространства с регулируемой потерей информации, для чего рассчитываются собственные вектора s_d матрицы автокорреляции V'_{cor} пространства V' . Собственные вектора рассчитываются в порядке убывания соответствующих им собственных чисел, нормированных по единице. Таким образом, собственное число s_d^* , соответствующее собственному вектору s_d , можно считать объемом информации, которая будет сохранена из пространства V' в пространство V , а процесс расчета s_d можно оставить в том случае, если $\sum_{l=1}^{l=d} s_l^* \geq T$, где T - заранее заданное пороговое значение. После расчета необходимого количества собственных векторов из них составляется матрица преобразования S , и, таким образом, $V' \rightarrow V : V = V'S$.

Второй подход к описанию образов основан на использовании энергетических характеристик Лавса и автоэнкодера для уменьшения размерности пространства признаков.

По сравнению с текстурными признаками Харалика энергетические характеристики Лавса обладают следующими достоинствами:

- возможность компактного описания большинства возможных характерных паттернов структуры текстуры таких, как периодическое повторение элементов текстуры, множество несвязных мелких элементов, отдельные относительно большие пятна и прочие;
- возможность компактного описания уровня яркости текстуры, масштабированного к одинаковому уровню освещения по всему изображению.

Недостатком данного подхода является необходимость свертки исходного изображения с набором пространственных фильтров, ведущая к существенным временным затратам на расчет описания текстуры.

Автоэнкодер (автоассоциатор) — нейронная сеть прямого распространения, выполняющая кодирование входного вектора в вектор — представление.

Задача обучения автоэнкодера сводится к тому, чтобы добиться соответствия результирующего вектора входному, после чего автоэнкодер искусственно разделяют, используя в качестве вектора — представления вектор — результат функционирования одного из внутренних слоев.

В процессе обучения входные вектора v' подаются на вход автоэнкодера и ожидаются на его выходе как эталонные (слои 1 и 4 соответственно). Обучение производится с помощью алгоритма градиентного спуска с применением алгоритма обратного распространения ошибки.

Как только точность обучения достигает 90%, обучение прекращается, слой 4 удаляется и вектора v начинают сниматься с выходов нейронов слоя 3.

Описанные в данной главе алгоритмы уменьшения пространства признаков образов позволяют сохранить информативность и гибкость описания пространства признаков, что приводит к сокращению временных затрат на распознавание образов с минимальной контролируемой потерей точности получаемых результатов.

Четвертая глава «Экспериментальные исследования разработанных алгоритмов распознавания образов на данных ДЗЗ» содержит:

- описание программного комплекса, реализующего разработанные алгоритмы обработки данных ДЗЗ;
- порядок проведения экспериментальных исследований: цели и задачи исследований, план эксперимента и описание методов обработки результатов экспериментальных исследований;
- результаты проведенных экспериментальных исследований;
- выводы по результатам проведенных экспериментальных исследований.

Алгоритмы, разработанные в рамках данной диссертационной работы, были реализованы в составе следующих программных продуктов: Программный стенд «Тестирование алгоритмов предобработки и совмещения изображений» (свидетельство о государственной регистрации №

2014617155), Программный стенд «Построение и визуализация виртуальных двухмерных и трехмерных карт и моделей местности по данным аэрофотосъемки, спутниковых снимков и цифровых карт местности» (№ 2015660408), Программный стенд «Исследование алгоритмов сжатия с потерями и декомпрессии изображений с применением деревьев вейвлет-преобразований» (№ 2015660720), Программа «Формирование комбинированных изображений с применением технологии синтезированного видения» (№ 2016663487), Программный модуль обработки геоанных на основе нейро-нечетких и эволюционных подходов (№ 2016616947), в изобретении «Способ дешифрации изображений» (патент № 2015154460), в полезной модели «Устройство синтезированного видения» (патент № 168333).

В таблице 1 приведены результаты сравнения следующих методов и алгоритмов:

- алгоритм корректирующих приращений (далее CAI);
- Байесовская стратегия минимального среднего риска (далее BS);
- метод перебора (далее EM);
- метод потенциальных функций (далее MPF);
- алгоритма распознавания образов, основанных на применении древовидного нейросетевого классификатора, использующего нейронные сети прямого распространения без обратных связей в качестве простых классификаторов (далее FF);
- алгоритма распознавания образов, основанных на применении древовидного нейросетевого классификатора, использующего нейронные сети прямого распространения без обратных связей в качестве простых классификаторов с применением описания пространства признаков образов объектов, основанных на применении текстурных признаков Харалика и PCA (далее PCA);
- алгоритма распознавания образов, основанных на применении древовидного нейросетевого классификатора, использующего нейронные сети прямого распространения без обратных связей в качестве простых классификаторов с применением описания пространства признаков образов, основанных на применении энергетических текстурных характеристик Лавса и автоэнкодера (далее AENC).

Эксперимент заключался в обработке набора спутниковых снимков для тестовой местности. В качестве источника спутниковых снимков была использована камера Thematic Mapper (TM), установленная на космическом аппарате Landsat 5. Для проведения эксперимента были использованы спутниковые снимки следующих областей Евразии:

- средняя полоса России – 10 спутниковых снимков Рязанской, Владимирской, Московской, Нижегородской, Пензенской областей, Мордовии (далее – тестовая местность 1);
- Черноземье – 10 спутниковых снимков Липецкой, Тамбовской, Воронежской, Белгородской областей (далее – тестовая местность 2);
- тайга – 10 спутниковых снимков (далее – тестовая местность 3);
- Кавказ – 10 спутниковых снимков (далее – тестовая местность 4);
- Центральная Азия – 10 спутниковых снимков России, севера Казахстана, Монголии (далее – тестовая местность 5).

Для каждого спутникового снимка была составлена эталонная карта с применением сервиса OpenStreetMaps, Google Maps, Yandex Maps.

В таблице 1 жирным выделен лучший результат. В таблице 1:

- в столбцах «%» - приведено количество правильно классифицированных пикселей на спутниковых снимках, выраженное в процентах;
- в столбцах «t» - приведено время выполнения алгоритма (без учета процесса обучения, если таковой присутствует), выраженной в секундах.

Таблица 1 – Сравнение алгоритмов картографирования.

Тестовая местность	1		2		3		4		5	
	%	t, c	%	t, c	%	t, c	%	t, c	%	t, c
CAI	6,4	8,7	7,7	7,9	4,3	8,0	2,9	7,9	5,3	8,1
BS	2,2	6,3	1,6	6,5	3,9	6,1	4,2	7,0	3	6,5
EM	14,9	9,5	12,7	9,7	16,8	9,0	11,4	8,8	13,9	9,2
MPF	4,6	6,8	7,9	6,3	9,9	6,5	5,2	6,1	6,9	6,4
FF	0,1	7,1	0,2	7,3	1,2	6,9	0,3	7,1	0,3	7,2
PCA	3,9	5,9	2,4	5,8	2,8	5,6	1,3	5,7	2,6	5,7
AENC	2,8	5,1	1,6	5,0	3,6	4,8	4,4	4,9	3,1	5,0

Таким образом, для рассмотренных тестовых местностей лучшие результаты показывают следующие алгоритмы.

- Средняя полоса России.

С точки зрения процента ошибки распознавания образов лучший результат показывает алгоритм FF - на 2,1 % по сравнению с алгоритмом BS.

С точки зрения времени выполнения лучший вариант показывает алгоритм AENC - в среднем на 1,2 секунду меньше по сравнению с алгоритмом BS.

- Черноземье.

С точки зрения процента ошибки распознавания образов лучший результат показывает алгоритм FF - на 1,4 % по сравнению с алгоритмом BS.

С точки зрения времени выполнения лучший вариант показывает алгоритм AENC - в среднем на 1,3 секунду меньше по сравнению с алгоритмом MPF.

- Тайга.

С точки зрения процента ошибки распознавания образов лучший результат показывает алгоритм FF - на 2,7 % по сравнению с алгоритмом BS.

С точки зрения времени выполнения лучший вариант показывает алгоритм AENC - в среднем на 1,3 секунду меньше по сравнению с алгоритмом BS.

В данном случае компромиссным вариантом является алгоритм РСА, точность которого лучше на 0,8 % по сравнению с алгоритмом АЕНС, а временные затраты меньше в среднем на 0,5 по сравнению с алгоритмом BS.

- Кавказ.

С точки зрения процента ошибки распознавания образов лучший результат показывает алгоритм FF - на 3,9 % по сравнению с алгоритмом САІ.

С точки зрения времени выполнения лучший вариант показывает алгоритм АЕНС - в среднем на 1,2 секунду меньше по сравнению с алгоритмом МРF.

В данном случае компромиссным вариантом является алгоритм РСА, точность которого лучше на 3,1 % по сравнению с алгоритмом АЕНС, а временные затраты меньше в среднем на 0,4 по сравнению с алгоритмом МРF.

- Центральная Азия.

С точки зрения процента ошибки распознавания образов лучший результат показывает алгоритм FF - на 2,7 % по сравнению с алгоритмом BS.

С точки зрения времени выполнения лучший вариант показывает алгоритм АЕНС - в среднем на 1,4 секунду меньше по сравнению с алгоритмом МРF.

В данном случае компромиссным вариантом является алгоритм РСА, точность которого лучше на 0,5 % по сравнению с алгоритмом АЕНС, а временные затраты меньше в среднем на 0,7 по сравнению с алгоритмом МРF.

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 построения детализированных карт местности, основанной на применении разработанных информационной модели, методов и алгоритмов обработки данных ДЗЗ. В заключении содержатся рекомендации по возможному применению полученных результатов для обработки данных ДЗЗ в контексте решения различных прикладных задач.

Диссертационная работа выполнена в рамках прикладных научных исследований на тему «Разработка программно-аппаратного комплекса синтезированного видения в составе бортовых систем гражданской авиации для улучшения ситуационной осведомленности пилота в условиях затрудненной видимости и сложного рельефа», соглашение 14.574.21.0084 / RFMEFI57414X0084 ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет» и Министерство Образования и Науки Российской Федерации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной диссертационной работе выполнены исследования методов и разработка алгоритмов построения карт местности по данным ДЗЗ, в том числе:

- 1) проведен анализ проблемы построения высокоточных детализированных карт местности путем применения интеллектуальных подходов к распознаванию образов на данных ДЗЗ;
- 2) выполнено исследование информационной модели процесса распознавания образов на изображениях;
- 3) выполнено исследование возможности использования систем искусственного интеллекта для решения задач распознавания образов на изображениях;
- 4) разработан алгоритм распознавания образов, основанный на применении древовидного нейросетевого классификатора, использующего нейронные сети прямого распространения без обратных связей в качестве простых классификаторов;
- 5) разработаны алгоритмы описания пространства признаков образов объектов, основанных на применении текстурных признаков Харалика и РСА;
- 6) разработаны алгоритмы описания пространства признаков образов, основанных на применении энергетических текстурных характеристик Лавса и автоэнкодера;
- 7) разработан программный комплекс, реализующего предложенные алгоритмы;
- 8) проведены экспериментальные исследования возможности использования систем искусственного интеллекта для решения практических задач распознавания образов на изображениях в задачах картографирования местности, обобщение и оценка результатов экспериментальных исследований.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в изданиях, включенных в список ВАК

1. 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.
2. **Акинина Н.В.**, Бычкова Н.А., Клочков А.Я. Нейросетевые методы анализа главных компонент в задачах обработки данных дистанционного зондирования Земли. // Известия Юго-Западного государственного университета № 6 (51), часть 2. - Курск: Юго-Западный государственный университет. - 2013. - с. 69 — 76.
3. 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.
4. **Акинина Н.В.**, Акинин М.В., Соколова А.В., Колесенков А.Н., Никифоров М.Б. Методы и алгоритмы фильтрации разнородных помех с применением систем искусственного интеллекта в задачах обработки данных дистанционного зондирования Земли. // Известия Тульского государственного университета (технические науки). Вы-

пуск 9. - Тула: Тульский государственный университет. - 2015. - с. 12 – 19.

5. Акинин М.В., **Акинина Н.В.**, Никифоров М.Б., Соколова А.В., Таганов А.И. Нейросетевой метод оперативного картографирования с использованием беспилотного летательного аппарата. // Динамика сложных систем. - XXI век № 2 (2015). - Москва: Радиотехника. - 2015. - с. 9 – 14.
6. **Акинина Н.В.** Акинин М.В., Соколова А.В., Никифоров М.Б., Таганов А.И. Автоэнкодер: подход к понижению размерности векторного пространства с контролируемой потерей информации // Известия Тульского государственного университета (технические науки). Выпуск 9. - Тула: Тульский государственный университет. - 2016. - с. 3 – 12.
7. **Акинина Н.В.** Нейросетевой метод дешифрации спутниковых снимков в задачах обнаружения несанкционированных свалок. // Известия Тульского государственного университета (технические науки). Выпуск 2. - Тула: Тульский государственный университет. - 2017. - с. 25 - 31.
8. Таганов А.И., Колесенков А.Н., Псоянц В.Г., **Акинина Н.В.** Автоматизированный синтез карты экологических рисков в ГИС. // Известия Тульского государственного университета (технические науки). Выпуск 2. - Тула: Тульский государственный университет. - 2017. - с. 188 – 198.

Статьи в изданиях, включенных в базу данных Scopus

9. Akinin M.V., **Akinina N.V.**, Nikiforov M.B., Taganov A.I. Autoencoder: approach to the reduction of the dimension of the vector space with controlled loss of information. // 4rd Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO-2015). - Montenegro, Budva. - 2015. - pp. 171 – 173.
10. Sokolova A.V., Akinin M.V., **Akinina N.V.**, Klochkov A.Y., Nikiforov M.B. Fuzzy c-means algorithm for segmentation of aerial photography data obtained using unmanned aerial vehicle. // ISPRS WG V/5 and WG III/3 International Workshop «Photogrammetric techniques for video surveillance, biometrics and biomedicine». - Moscow. - 2015.
11. Akinin M.V., **Akinina N.V.**, Kolesenkov A.N., Sokolova A.V., Soldatenko I.S. Application of Grammars of Kitano Graph Generation for Coding of Structure of Feedforward Artificial Neural Network. // Research Journal of Applied Sciences (volume 10, issue 12, 2015). - Medwell Journals. - 2015. - pp. 815 – 818.
12. Akinin M.V., **Akinina N.V.**, Sokolova A.V., Soldatenko I.S. Neural Network Method of Operative Linking of Airphoto Intelligence and Virtual Topographic Model. // Research Journal of Applied Sciences (volume 10, issue 12, 2015). - Medwell Journals. - 2015. - pp. 819 – 822.
13. Akinin M.V., **Akinina N.V.**, Akinina A.V., Balakin V.A., Baturkin S.A., Bochkov I.A., Litvinov A.A., Siginov I.V., Skintsev A.A., Soldatenko I.S. The Algorithm of the Textures Anty-Aliasing in the Virtual Images De-Blurring Methods Area Based Model. // Research

- Journal of Applied Sciences (volume 11, issue 13). - 2016. - pp. 2881 — 2884.
14. Akinin M.V., **Akinina N.V.**, Akinina A.V., Balakin V.A., Baturkin S.A., Bochkov I.A., Mokina O.M., Siginov I.V., Skintsev A.A., Soldatenko I.S. Neural Network Algorithm Of Improvement Of Vector Topographical Maps According To The Data From Earth Remote Sensing. // International Journal of Phamancy & Technology. - IJPT. - 2016. - pp. 26679 – 26689.
 15. Akinin M.V., **Akinina N.V.**, Nikiforov M.B., Sokolova A.V., Taganov A.I. Neural network implementation of a principal component analysis tasks on board the unmanned aerial vehicle information processing in real time. // 5th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO-2016). - Montenegro, Bar. - 2016. - pp. 326 — 330.
 16. Akinin M.V., **Akinina N.V.**, Nikiforov M.B., Sokolova A.V. Intelligent system of selecting the landing site of unmanned aerial vehicles. // 5th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO-2016). - Montenegro, Bar. - 2016. - pp. 192 — 194.
 17. Akinin M.V., **Akinina N.V.**, Akinina A.V., Balakin V.A., Baturkin S.A., Bochkov I.A., Kuznetsov V.V., Siginov I.V., Skuntsev A.A., Soldatenko I.S. Methods and Algorithms of Heterogeneous Interference Filtration with The Use of Artificial Intelligence Systems in The Tasks of Manipulation of Data of Earth's Remote Sensing. // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences (volume 7, issue 6). - 2016. - pp. 3187 — 3192.
 18. Akinin M.V., **Akinina N.V.**, Nikiforov M.B., Taganov A.I. Methods of detection in satellite images of illegal dumps by using a method based on tree classifier. // 6rd Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO-2017). - Montenegro, Bar. - 2017. - pp. 134 — 136.
 19. **Akinina N.V.**, Gusev S.I., Kolesenkov A.N., Taganov A.I. Issues Of Applying Fuzzy Situational Models Of Decision Making For Identifying Ecological Risks. // 6rd Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO-2017). - Montenegro, Bar. - 2017. - pp. 226 — 230.

Патенты и свидетельства о регистрации программ для ЭВМ

20. **Акинина Н.В.**, Солдатенко И.С., Семенова И.А., Шишкова Т.Е. Способ дешифрации изображений. Патент на изобретение № 2610283 от 18.12.2015 г.
21. **Акинина Н.В.**, Акинин М.В., Солдатенко И.С. Устройство синтезированного видения. Патент на полезную модель № 168333 от 03.11.2016 г.
22. **Акинина Н.В.**, Акинин М.В., Елесина С.И., Ломтева О.А., Муратов Е.Р. Программный стенд «Тестирование алгоритмов предобработки и совмещения изображений». Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014617155 от 14.07.2014.
23. **Акинина Н.В.**, Акинин М.В., Соколова А.В. Программный стенд «Построение и визуализация виртуальных двухмерных и трехмерных карт и моделей местности по данным аэрофотосъемки, спутниковых снимков и цифровых карт местности». Свидетельство о го-

сударственной регистрации программы для ЭВМ № 2015660408 от 30.09.2015.

24. **Акинина Н.В.**, Акинин М.В., Соколова А.В. Программный стенд «Исследование алгоритмов сжатия с потерями и декомпрессии изображений с применением деревьев вейвлет-преобразований». Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015660720 от 07.10.2015.
25. **Акинина Н.В.**, Колесенков А.Н., Таганов А.И., Гусев С.И., Несова А.В. Программный модуль обработки геоданных на основе нейронечетких и эволюционных подходов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016616947 от 22.06.2016.
26. **Акинина Н.В.**, Акинин М.В. Программа «Формирование комбинированных изображений с применением технологии синтезированного видения». Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016663487 от 08.12.2016.

Акинина Наталья Викторовна

Интеллектуальные алгоритмы формирования
карт и моделей местности для производства
составных частей бортовых дисплеев
гражданской авиации

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 01.12.2017.

Формат бумаги 60x84 1/16.

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

Тираж 100 экз.

Тверской государственный университет.

Редакционно-издательское управление.

Россия, 170100, г. Тверь, ул. Желябова, 33.