**Томакова, Римма Александровна. Гибридные методы и алгоритмы для интеллектуальных систем классификации сложноструктурируемых изображений : диссертация ... доктора технических наук : 05.13.17 / Томакова Римма Александровна; [Место защиты: Белгородский государственный университет].- Курск, 2013.- 341 с.: ил. РГБ ОД, 71 14-5/107**

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**

**высшего профессионального образования**

**«Юго-Западный государственный университет»**

**(ЮЗГУ)**

**0520-2-35x191**

**ТОМАКОВА Римма Александровна**

**ГИБРИДНЫЕ МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ДЛЯ**

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ КЛАССИФИКАЦИИ**

**СЛОЖНОСТРУКТУРИРУЕМЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

**05.13.17 - Теоретические основы информатики**

**Диссертация на соискание ученой степени**

**доктора технических наук**

**Научный консультант доктор технических наук, профессор, лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники Емельянов Сергей Геннадьевич**

**Курск 2013**

**СОДЕРЖАНИЕ**

**ВВЕДЕНИЕ 5**

**ГЛАВА 1. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КЛАССИФИКАЦИИ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА**

**СЛОЖНОСТРУКТУРИРУЕМЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ 18**

**1.1. Сложные объекты и методы их описания 18**

**1.2. Математические модели изображений 25**

**1.3. Анализ методов и алгоритмов сегментации**

**сложноструктурируемых изображений 29**

**1.3.1. Сегментация на основе пороговой обработки 33**

**1.3.2. Методы сегментации, основанные на кластеризации 36**

**1.3.3. Методы сегментации, основанные на градиентных**

**операторах 37**

**1.3.4. Сегментация с помощью модели 41**

**1.4. Математическая морфология и обработка изображений 46**

**1.5. Процедуры и методы классификации изображений 49**

**1.6. Цели и задачи исследований 52**

**ГЛАВА 2. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ОПЕРАТОРЫ ДЛЯ СЕГМЕНТАЦИИ СЛОЖНОСТРУКТУРИРУЕМЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ... 55**

**2.1. Обобщенный алгоритм сегментации**

**сложноструктурируемых изображений 55**

**2.2. Синтез морфологического оператора для препарирования**

**изображения G1 61**

**2.3. Нечеткая модель формирования бинарного изображения**

**границы сегмента 72**

**2.4. Выводы второй главы 85**

**ГЛАВА 3. МЕТОДОЛОГИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО ОПИСАНИЯ 8?**

**КРИВЫХ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ**

**3.1. Метод морфологической обработки бинарных изображений.. 87**

**3.2. Исследования методов спектрального представления**

**контуров минимальной толщины 96**

**3.3. Выбор и оптимизация числа используемых дескрипторов**

**Фурье при анализе границ сегментов сложноструктурируемых изображений 104**

**3.4. Выводы третьей главы 113**

**з**

**ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЯ СЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ СЕГМЕНТОВ НА СЛОЖНОСТРУКТУРИРУЕМЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ 115**

**4.1. Разработка универсальной сетевой структуры для задач**

**двухальтернативной классификации 115**

**4.2. Нейросетевые структуры для сегментации изображений по**

**параметрам пикселей и их окрестностей 124**

**4.2.1. Структура первого решающего модуля 127**

**4.2.2. Структура второго решающего модуля 135**

**4.3. Алгоритмическое и программное обеспечение**

**моделирования решающих модулей 139**

**4.4. Выводы четвертой главы 148**

**ГЛАВА 5. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ СЕГМЕНТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ МАЗКОВ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ 150**

**5.1. Алгоритм измерения межклеточных соотношений**

**в периферической крови 150**

**5.2. Модуль анализа цветного изображения сегмента 158**

**5.3. Модуль анализа сегментов черно-белого изображения 176**

**5.4. Структура базы данных для настройки модуля принятия**

**решений 180**

**5.5. Программное обеспечение интеллектуальной системы**

**классификации форменных элементов крови 183**

**5.5.1. Общая структура программного обеспечения 183**

**5.5.2. Программный модуль сегментации микроскопических**

**изображений мазков крови 187**

**5.5.3. Программный модуль для классификации форменных**

**элементов крови 192**

**5.5.4. Схема формирования файлов обучающих выборок 199**

**5.5.5. Алгоритм формирования интегрированных моделей решающих модулей для классификации форменных элементов крови— 210**

**5.6. Экспериментальные исследования разработанной системы анализа микроскопических изображений форменных элементов крови... 212**

**5.7. Выводы пятой главы 219**

**ГЛАВА 6. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ И СЛОЖНОСТРУКТУРИРУЕМЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ОФТАЛЬМОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ.. 223**

**6.1. Структура автоматизированной системы поддержки**

**принятия решений врача-офтальмолога 223**

**6.2. Экспериментальные исследования эффективности**

**классификации извилистости сосудов сетчатки 226**

**6.3. Нейронные сети с макрослоями для классификации и**

**прогнозирования сосудистой патологии глазного дна 230**

**6.4. Формирование нелинейных отображений на входах НСМ для диагностики и прогнозирования тромбоза центральной вены**

**сетчатки и ее ветвей 233**

**6.5. Оценка эффективности правил прогнозирования и диагностики степени тяжести тромбозов центральной вены сетчатки и**

**ее ветвей 240**

**6.6. Разработка нейросетевых моделей принятия решений по результатам анализа фотографий флюоресцентных ангиограмм**

**глазного дна 242**

**6.7. Экспериментальные исследования качества сегментации**

**изображения глазного дна при различных видах патологий 258**

**6.8. Экспериментальные исследования автоматизированной**

**системы анализа изображений сетчатки глаза диагностики диабетической ретинопатии 261**

**6.9. Выводы шестой главы 266**

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ 269**

**СПИСОК ПРИНЯТЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ И СОКРАЩЕНИЙ 272**

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 274**

**ПРИЛОЖЕНИЕ А 297**

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б 305**

**ВВЕДЕНИЕ**

**Актуальность исследования. Многие направления науки, техники и производства в значительной степени ориентируются на развитие систем, в которых информация представлена в виде изображений. При обработке такой информации возникает ряд сложных научных, технических и технологических проблем. Одной из самых сложных из них на сегодняшний момент являются анализ и распознавание изображений. О важности этой проблемы говорит тот факт, что исследования по распознаванию образов, анализу изображений и речи включены в перечень приоритетных направлений развития науки и техники и критических технологий федерального уровня.**

**В настоящее время интенсивно развиваются интеллектуальные системы, предназначенные для описания формы анализируемых изображений или выделения из них метрической или семантической информации. Анализ семантики является вершиной иерархической процедуры обработки изображений, сложность которой связана с тем, что изначально эта процедура решает нечеткую задачу.**

**Решению проблемы анализа и распознавания изображений посвящены работы отечественных и зарубежных ученых, среди которых следует выделить работы Д. Балларда, Е. Дэвиса, Р. Гонсалеса, Ю.И. Журавлева, В.А. Сойфера, Ж. Серра, Д. Марра, А. Демпстера, Г. Шафера, М. Павель, Ю.П. Пытьева, Я.А. Фурмана, Л.П. Ярославского. За последние десятилетия создано множество успешных систем машинного зрения, в которых в тех или иных сочетаниях используются разработанные ими парадигмы и подходы.**

**Тем не менее, существует ряд проблем, связанных с классификацией изображений, которые не решены в настоящее время. Для успешной классификации изображений необходима априорная информация о структуре и свойствах мира. Однако многие факторы (деформация формы, перекрытие, переход от 3D-cnen к 20-изображениям и т.п.) снижают ценность априорных**

**данных и затрудняют семантическую сегментацию изображения, при которой каждый сегмент рассматривается как объект определенного класса. В итоге, изображение имеет альтернативные структуры, решение по выбору одной из которых не может быть принято однозначно, основываясь на принятой картине мира. Определим этот класс изображений как сложноструктурируемые. Следовательно, если изображение является сложноструктурируемым, то это ведет к значительному снижению качества его классификации или классификации его сегментов посредством обучаемых классификаторов.**

**Сложноструктурируемому изображению характерно искажение границ сегментов и появление ложных сегментов, а также наличие древовидных структур. Поэтому использование известных локальных градиентных операторов выделения границ и оконтуривающих морфологических операторов не дает ожидаемого эффекта в связи с тем, что они привязываются к априорно заданной картине мира и не анализируют локальные результаты принятого решения и многоальтернативные решения.**

**В настоящее время научно-техническое направление классификации сложноструктурируемых изображений активно развивается, в последнее десятилетие предложены методы определения дескрипторов изображений и их сегментов, позволяющие построить признаковые пространства, устойчивые к ряду аффинных преобразований, шуму, изменению в освещении: SIFT (Scale Invariant Feature Transform), SURF (Speeded Up Robust Features), PCA-SIFT (PCA - Principal Component Analysis) и т.д. Но эти дескрипторы предназначены для работы в интеллектуальных системах поиска аналогичных и подобных изображений, а не в системах классификации. В настоящее время для классификации успешно применяются алгоритмы, например, такие как Bagging и Boosting, основанные на использовании множества базовых классификаторов с последующей агрегацией их решений, направленной на снижение ошибок первого и второго рода. Использование этих алгоритмов предполагает**

**наличие больших объемов выборок, позволяющих осуществить настройку множества классификаторов. Однако существует достаточно большой класс сложноструктурируемых изображений, для которых обеспечить необходимый объем обучающей выборки принципиально невозможно. Это, в частности, относится к медицинским изображениям, где эти ограничения обусловлены наличием сочетанной патологии и сложностью экспериментов на живых объектах. В этом случае для классификации целесообразно использовать методы и алгоритмы, основанные на различных парадигмах, что позволяет построить гибридные модели классификации, которые используют как методы обучаемых систем распознавания образов, так и методы экспертного оценивания. Гибридные модели целесообразно использовать и в случае иерархической семантической классификации, когда для окончательной классификации необходимо учитывать не только класс сегмента, но и его геометрические характеристики и масштаб.**

**В качестве обучаемых систем классификации изображений в настоящее время наиболее часто используются искусственные нейронные сети. Однако известные структурно-функциональные решения для искусственных нейронных сетей не могут быть эффективно использованы при анализе и классификации сложноструктурируемых изображений ввиду ограниченности объемов обучающих выборок и высокой степенью пересечения классов в признаковом пространстве. Ограниченность объема обучающей выборки компенсируется посредством использования методов экспертного оценивания, основанных на нечетком логическом выводе. Но в случае классификации сложноструктурируемых изображений использование этих методов не приводит к приемлемому результату из-за того, что методология нечеткого вывода слабо адаптирована под задачи классификации. Поэтому отсутствие методов и алгоритмов разработки гибридных классификаторов сложноструктурируемых изображений является серьезной проблемой, затрудняющей и замедляющей разработку новых приложений и практических систем в области компьютерного зрения. В связи с этим**

**возникает проблемная ситуация, связанная с противоречием между возможностями современной компьютерной и оптико-электронной техники и недостаточностью теоретической базы при ее использовании в системах классификации, основанных на анализе сложноструктурируемых изображений.**

**Указанное противоречие определяет постановку и решение актуальной проблемы повышения качества анализа и классификации сложноструктурируемых изображений на основе гибридных методов классификации при ограничениях на объемы обучающих выборок и высоком уровне пересечения классов в пространстве информативных признаков.**

**Объект исследования. Интеллектуальные системы анализа данных и поддержки принятия решений.**

**Предмет исследования. Методы, модели и алгоритмы для интеллектуальных систем сегментации и классификации сложноструктурируемых изображений.**

**Целью диссертационной работы является развитие методологии классификации сложноструктурируемых изображений на основе гибридных сетевых структур как средств унифицированного подхода к семантическому анализу яркостно-геометрических моделей изображений.**

**В соответствии с поставленной целью в работе решаются следующие основные задачи:**

**- анализ современного состояния методов и средств сегментации и классификации сложноструктурируемых изображений, исследование их критических свойств, поиск новых модификаций и обобщений этих методов, повышающих эффективность принятия решений;**

**- разработка математических и алгоритмических средств формирования интеллектуальных морфологических операторов, предназначенных для сегментации сложноструктурируемых изображений;**

**- разработка метода формального описания геометрические свойства сегментов сложноструктурируемых изображений, позволяющего получать**

**адекватные пространства информативных признаков, предназначенных для сетевых моделей их классификации;**

**- разработка математического и алгоритмического обеспечения для гибридных нейросетевых структур, позволяющих осуществлять анализ и классификацию сложноструктурируемых изображений на основе их яркостно-геометрического описания;**

**- создание специализированных методов, алгоритмов и программного обеспечения анализа изображений для интеллектуальных систем прогнозирования и диагностики функционального состояния сложных объектов;**

**- проведение экспериментальных исследований интеллектуальных систем анализа и классификации сложноструктурируемых изображений для оценки релевантности полученных информативных признаков, а также эффективность разработанных информационных технологий при использовании их в интеллектуальных системах поддержки принятия решений по классификации и идентификации функциональных состояний сложных объектов.**

**Методы и средства исследований. Для решения поставленных задач использовались математический аппарат линейной алгебры, теория вероятностей, аппарат морфологического анализа изображений, теория нейронных сетей и распознавания образов, методология спектрального анализа, теория множеств, методы экспертного оценивания и принятия решений. При разработке нейросетевых моделей и модулей нечеткого вывода в качестве инструментария использовался MATLAB 7.10 с графическим интерфейсом пользователя для Neural Network Toolbox и со встроенным пакетом Fuzzy Logic Toolbox.**

**Степень достоверности результатов проведенных исследований**

**обеспечивается корректным использованием математического аппарата, соответствием результатов вычислительных экспериментов, выдвигаемым в диссертации положениям и выводам качественного характера, а также**

**результатами практического использования методов, предложенных в диссертации. Работоспособность разработанных методов и алгоритмов подтверждена статистикой обработки большого объема реальных изображений, отсутствием противоречий с известными положениями теории и практики анализа и классификации изображений.**

**Научную новизну составляют следующие результаты.**

**1. Метод сегментации сложноструктурируемых изображений, построенный на основе гибридной обработки исходного полутонового изображения, отличающийся тем, что процесс получения бинарного изображения, отражающего морфологическую структуру исходного изображения, разбит на три последовательных этапа: на первом этапе получают градиентное изображение, на втором этапе - препарированное градиентное изображение, а на третьем этапе осуществляют переход к бинарному изображению, отражающему контуры границ сегментов исходного изображения, осуществляемый посредством нечеткой нейросетевой модели.**

**2. Интеллектуальный оператор, предназначенный для формирования границы сегмента, реализованный в виде многослойной нечеткой сети, включающей базу решающих правил и агрегирующие и классифицирующие слои, позволяющий реализовать итерационный процесс активации пикселей границы сегмента.**

**3. Метод построения математической модели сегмента произвольной формы, основанный на морфологической обработке бинарных или полутоновых растровых изображений, отличающийся тем, что путем использования цепочки, состоящей из четырех морфологических операторов, множество пикселей изображения, описывающих границу сегмента, дополняется до двух непересекающихся подмножеств, границы которых устанавливаются по нижней и верхней границам координат пикселей, входящих в исходное изображение, позволяющий представить изображение**

**произвольной кривой, в том числе и незамкнутой, в виде контура, имеющего формализованную структуру.**

**4. Метод формирования пространства информативных признаков для нейронной сети, классифицирующей кривую произвольной формы, основанный на определении дескрипторов Фурье соответствующего контура, отличающийся тем, что после получения отсчетов спектра Фурье контура число спектральных отсчетов дополняется нулевыми отсчетами, амплитуда спектральных составляющих увеличивается на величину, прямо пропорциональную величине расширения спектра, обусловленной добавлением нулевых отсчетов, а затем число дескрипторов Фурье отсекается до оптимального значения, определяемого путем минимизации функционала ошибки, позволяющий получить адекватную классификационную модель независимо от числа отсчетов в анализируемых контурах.**

**5. Математическое и алгоритмическое обеспечение для проектирования многомодульных сетевых структур, предназначенных для классификации объектов по их полихроматическим изображениям, включающее:**

**- математическую модель для построения универсальных сетевых структур, предназначенных для классификации двухальтернативных выборок при решении задач сегментации сложноструктурируемых изображений;**

**- сетевую структуру классификации двухальтернативных данных, включающую два решающих модуля и отличающуюся тем, что первый решающий модуль имеет сетевую структуру, соответствующую модели Арнольда-Колмогорова, в котором узлы первого скрытого слоя выполняют нелинейные отображения, узлы второго скрытого слоя - нейроны adaline, а второй решающий модуль предназначен для управления формой нелинейных отображений в первом скрытом слое первого решающего модуля в зависимости от окружения анализируемого пикселя изображения, позволяющую формировать границу сегмента произвольной формы;**

**- модель гибридной нейронной сети, отличающуюся параллельным включением нейронных сетей прямого распространения, настроенных на классификацию сегментов по пространственно-яркостным характеристикам пикселей изображения, и последовательно включенной радиально-базисной нейронной сетью, позволяющую классифицировать морфологические образования на растровых сложноструктурируемых изображениях;**

**- модели нейронных сетей с макрослоями, которые используют для диагностических заключений по группам информативных признаков, получаемых по различным методикам и технологиям.**

**6. Комплекс алгоритмов для формирования и функционирования многомодульных сетевых структур, предназначенных для анализа сложноструктурируемых изображений, включающий:**

**- алгоритм функционирования нейронной сети с макрослоями, классифицирующей сегменты цветного изображения, построенный по двухступенчатой схеме, отличающийся тем, что на первой ступени обрабатывают изображение, полученное в результате сегментации исходного полутонового изображения после обработки морфологическим оператором «эрозия», а на второй ступени — изображение, полученное после обработки исходного черно-белого изображения посредством морфологического оператора «дилатация», при этом на каждой ступени решение принимается на основе агрегации двух оценок, полученных в результате анализа цвето¬яркостных характеристик сегмента и характеристик формы сегмента; при этом на первой ступени завышают число ошибок первого рода, а на второй ступени - число ошибок второго рода, а окончательное решение принимается на основе сопоставления решений, принятых на первой и на второй ступенях обработки;**

**- алгоритмы формирования моделей сетевых структур для классификации пикселей на сложноструктурируемом изображении, отличающиеся использованием итерационных процедур настройки решающих модулей и итерационным процессом управления структурой**

**скрытых слоев решающих модулей, входящих в настраиваемую модель, которые позволяют получать модели сетевых структур, удовлетворяющие априорно заданным параметрам качества классификации;**

**- структуру базы данных обучающих выборок для нейронных сетей с макрослоями, отличающуюся тем, что записи в обучающих выборках распределены по двум уровням, причем для каждой L-й выборки г'-е строки (записи) в первом и втором уровнях относятся к одному и тому же сегменту изображения, а атрибуты для г'-го сегмента L-й выборки на втором уровне получены из атрибутов L-й выборки г'-го сегмента на первом уровне посредством их анализа модулями обработки цветного и черно-белого изображений;**

**- алгоритм автоматизированного получения интегрированных моделей решающих модулей для классификации сегментов сложноструктурируемых изображений, отличающийся адаптацией классифицирующей модели к анализируемому изображению, осуществляемый, по меньшей мере по двум контурам управления;**

**- программное обеспечение для формирования сетевых моделей, предназначенных для классификации пикселей сегментов сложноструктурируемых изображений, включающее интерактивные среды настройки функциональных блоков сетевых структур и реализованное в среде Matlab 7.10.**

**Практическая ценность диссертационной работы состоит в применении разработанных в ней методов и процедур анализа и классификации сложноструктурируемых изображений в ряде практических задач, в том числе в геоинформационных системах, в системах гематологического анализа, в автоматизированных системах гистологических исследований, в автоматизированных системах для офтальмологических исследований. Использование предлагаемых технических решений позволило снизить ошибки первого и второго рода,**

**повысить оперативность и достоверность принимаемых решений в системах диагностики и лабораторного анализа.**

**Реализация результатов исследования осуществлена: в НИЦ (г. Курск) ФГУП «18 ЦНИИ» МО РФ, Курском ОАО «Прибор», ОБУЗ «Офтальмологическая клиническая больница - Офтальмологический центр» (г. Курск), НУЗ «Отделенческая больница на ст. Курск ОАО «РЖД», ОБУЗ «Курская городская больница №1 им. Н.С. Короткова»; в учебном процессе факультета информатики и вычислительной техники ФГБОУ ВПО «Юго- Западного государственный университет при подготовке специалистов по специальности «Биотехнические аппараты и системы», «Инженерное дело в медико-биологической практике».**

**Внедрения подтверждаются соответствующими документами.**

**Связь с научными и инновационными программами.**

**Результаты диссертационных исследований были получены в результате выполнения ряда проектов в рамках следующих программ фундаментальных, поисковых и инновационных исследований:**

**- федеральной целевой программой «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы», Государственные контракты № П705, № П2088, № П424.**

**- гранта Минобрнауки России на 2012-2013 годы «Гибридные технологии анализа и классификации сложноструктурируемых изображений для медицинских приложений» (Соглашение № 14. В37.21.1970).**

**Положения, выносимые на защиту.**

**1. Математические модели, схемы алгоритмической реализации и практическое использование теории формирования интеллектуальных морфологических операторов, позволяющие рассматривать сегментацию сложноструктурируемых изображений с позиций гомеостатического моделирования на основе гибридных нейросетевых структур, объединяющих**

**парадигмы нейронных сетей прямого распространения и нечеткого моделирования.**

**2. Метод и схемы алгоритмической реализации для построения и спектрального анализа контуров произвольной формы, позволяющие использовать методологии спектрального и морфологического анализа сигналов и изображений для классификации сегментов полутоновых и/или цветных сложноструктурируемых изображений.**

**3. Методы и алгоритмические средства формирования гибридных**

**нейросетевых структур, позволяющие осуществлять анализ и классификацию сложноструктурируемых изображений по их цвето-яркостным и**

**геометрическим характеристикам, с последующей агрегацией решений.**

**4. Модели нейронных сетей с макрослоями, позволяющие принимать многоальтернативные решения по результатам нейросетевого анализа групп информативных признаков, получаемых по различным методикам и технологиям.**

**5. Специализированные математическое, алгоритмическое и**

**программное обеспечения для интеллектуальных систем классификации сложноструктурируемых изображений.**

**6. Типовые структурно-функциональные решения по анализу сложноструктурируемых изображений, апробация которых в системах поддержки принятия решений по классификации сложных объектов показала их преимущество перед известными техническими решениями.**

**Специальность, которой соответствует диссертация. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 05.13.17 — теоретические основы информатики (технические науки) по следующим областям исследования.**

**п.5. Разработка и исследование моделей и алгоритмов анализа данных, обнаружения закономерностей в данных и их извлечениях разработка и исследование методов и алгоритмов анализа текста, устной речи и изображений.**

**п.7. Разработка методов распознавания образов, фильтрации, распознавания и синтеза изображений, решающих правил**

**Апробация результатов диссертационных исследований.**

**Основные положения диссертации докладывались и получили положительную оценку на 24 Международных, Всероссийских конференциях: Международная конференция по аппликативным**

**вычислительным системам «АВС'2012» (Москва) в 2012 году; Международная научная конференция «Информационные технологии и компьютерные системы для медицины» (Маврикий) в 2012 году; Международная научная конференция «Компьютерное моделирование в науке и технике» (Андорра) в 2012 году; Международная научная конференция «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии ФРЭМЭ» (Владимир) в 2012, 2010 годах; Международная научно-техническая конференция «Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов и обработки изображений и символьной информации» (Курск) в 2012 году; Международная научная конференция «Современные наукоемкие технологии» (Испания-Франция) в 2012 году; Международная научная конференция «Фундаментальные и прикладные исследования в медицине» (Сочи) в 2012 году; Международная научно-практическая конференция «Перспективы развития информационных технологий» (Новосибирск) в 2012, 2011 годах; Международная научно-практическая конференция «Медико-экологические информационные технологии» (Курск) в 2011, 2010, 2009 годах; Международная научно-техническая конференция «Компьютерные науки и технологии» (Белгород) в 2011 году; Международная научно-практическая конференция «Интегративные процессы в науке» (Москва) в 2011, 2010 годах; Международная научная конференция «Лазерно¬информационные технологии в медицине, биологии и геоэкологии» (Новороссийск) в 2011, 2010, 2009, 2008 годах; Всероссийская научно- техническая конференция «Информационные и управленческие технологии в медицине и экологии» (Пенза) в 2009 году; Международная научно-**

**техническая конференция «Информационно-измерительные диагностические и управляющие системы» (Курск) в 2009 году; Всероссийская научно- техническая конференция «Искусственный интеллект в XXI веке. Решения в условиях неопределенности» (Пенза) в 2008 году; Международный радиоэлектронный форум «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития» (Харьков) в 2008 году.**

**Публикации. По результатам исследований опубликованы 59 работ, из них 21 работа в изданиях из списка ВАК РФ, 3 монографии, 2 заявки на изобретение, 2 свидетельства о регистрации программы, 23 публикации материалов докладов, 8 статей в других изданиях.**

**Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения и двух приложений. Работа изложена на 296 страницах машинописного текста, включающего 127 рисунков и 21 таблицу и список литературных источников из 211 наименований.**

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В диссертационной работе в рамках решения поставленной научно- технической проблемы повышения качества классификации сложных объектов на основе анализа их сложноструктурируемых изображений получены следующие основные результаты:

1. Выполнен анализ современного состояния методов и средств классификации сложных объектов, основанных на анализе сложноструктурируемых изображений, исследованы их критические свойства, выявлены пути их модификаций, обеспечивающих повышение эффективности принятия решений.
2. Разработан аппарат математических и алгоритмических средств формирования интеллектуальных морфологических операторов, предназначенных для сегментации сложноструктурируемых изображений, включающий:
* метод сегментации сложноструктурируемых изображений, построенный на основе градиентной обработки исходного полутонового изображения;
* интеллектуальный оператор, предназначенный для формирования границы сегмента, реализующий итерационный процесс активации пикселей границы сегмента.
1. Разработан обобщающий математический формализм, позволяющий с единых позиций описывать геометрические свойства сегментов сложноструктурируемых изображений, включающий:
* метод построения математической модели сегмента произвольной формы, основанный на морфологической обработке бинарных или полутоновых растровых изображений, позволяющий представить изображение любой кривой, в том числе и незамкнутой, в виде контура минимальной толщины;
* метод формирования пространства информативных признаков для нейронной сети, классифицирующей кривую произвольной формы,

основанный на определении дескрипторов Фурье соответствующего контура минимальной толщины, позволяющий получить адекватную классификационную модель, независимо от числа отсчетов в анализируемых контурах.

1. Разработан аппарат математических и алгоритмических средств формирования гибридных сетевых структур, позволяющих осуществлять анализ и классификацию сложноструктурируемых изображений на основе их яркостно-геометрического описания, включающий:
* математическую модель для построения универсальных сетевых структур, предназначенных для классификации двухальтернативных выборок при решении задач сегментации сложноструктурируемых изображений;
* сетевую структура классификации двухальтернативных данных, включающую два решающих модуля, позволяющую формировать границу сегмента произвольной формы;
* модель гибридной нейронной сети, позволяющая классифицировать морфологические образования на растровых сложноструктурируемых' изображениях;
* модели нейронных сетей с макрослоями, использующие для диагностических заключений по группам информативных признаков, получаемых по различным методикам и технологиям.
1. Создано специализированное методическое, алгоритмическое и программное обеспечение анализа изображений для интеллектуальных систем прогнозирования и диагностики социально-значимых заболеваний включающее:
* алгоритм функционирования нейронной сети с макрослоями, классифицирующей сегменты цветного изображения, построенный по двухступенчатой схеме;
* алгоритмы формирования моделей сетевых структур для классификации пикселей на сложноструктурируемом изображении, позволяющие получать модели сетевых структур, удовлетворяющие априорно заданным параметрам качества классификации;
* структуру базы данных обучающих выборок для нейронных сетей с макрослоями;
* алгоритм автоматизированного получения интегрированных моделей решающих модулей для классификации сегментов сложноструктурируемых изображений;
* программное обеспечение для формирования сетевых моделей, предназначенных для классификации пикселей сегментов сложноструктурируемых изображений, включающее интерактивные среды настройки функциональных блоков сетевых структур, реализованное в среде Matlab 7.0.
1. Разработаны типовые информационные структуры, предназначенные для интеллектуальных систем поддержки принятия решений гематологического анализа и для врача-офтальмолога, клинические и лабораторные испытания которых показали:
* диагностическую эффективность при решении задачи классификации сосудов сетчатки глаза «норма» - «патология» 93%;
* уверенность в правильном принятии решений на уровне 0,9 при прогнозе и дифференциальной диагностики степени тяжести тромбозов центральной вены сетчатки и ее ветвей;
* превосходство по показателям качества аналогичные систем такого же назначения при выявлении больных диабетической ретинопатией, в среднем, превосходят на 14%;

превосходство по показателям качества классификации аналогичных систем такого же назначения при определении межклеточных соотношений в среднем на 4%, а также снижение числа ложных тревог (разрушенные клетки, скопления тромбоцитов, грязь, пятна краски ошибочно принятые за лейкоциты).