

На правах рукописи

Вин Тхей

**СИСТЕМА СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И
НЕЙРОСЕТЕВОГО РАСПОЗНАВАНИЯ
ТЕКСТУРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

Специальность 05.13.11 — математическое и программное
обеспечение вычислительных машин, комплексов и
компьютерных сетей

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Автор:

Москва - 2007

Работа выполнена в Московском инженерно-физическом институте (государственном университете).

Научный руководитель:

кандидат технических наук, доцент
Мишулина Ольга Александровна

Официальные оппоненты:

член-корреспондент РАН
Крыжановский Борис Владимирович

кандидат технических наук
Тюменцев Юрий Владимирович

Ведущая организация:

**Государственный научно-исследовательский
институт авиационных систем**

Защита состоится «23» мая 2007 г. в 16.30 на заседании диссертационного совета Д 212.130.03 в МИФИ по адресу: 115409, Москва, Каширское шоссе, д.31, телефон 323-91-67, в конференц-зале главного корпуса.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МИФИ.

Автореферат разослан «20» апреля 2007 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью организации, просьба направлять по адресу:
115409, Москва, Каширское шоссе, д.31, диссертационный совет Д,
Шумилову Ю.Ю.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
д.т.н., профессор

Шумилов Ю.Ю.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

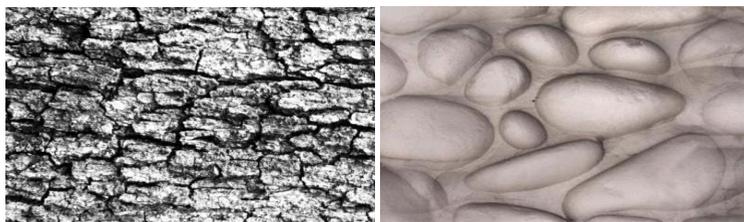
Актуальность темы исследований

В практических приложениях нередко возникает задача анализа и классификации изображений, которые не содержат четко выраженных объектов и не могут рассматриваться как сцены с определенным физическим, техническим или иным смыслом. Такие изображения содержат случайно расположенные протяженные фигуры (объекты) разной формы, ориентации и яркости. Примерами подобных текстур являются выполненные с большим увеличением изображения гистологических препаратов, используемых в медико-биологических исследованиях; результаты зондирования со спутника поверхности Земли с помощью радара в разных диапазонах длин волн; декоративные художественные картинки, лишенные содержательных объектов в поле изображения, и пр. Рассматриваемые текстуры отличаются от узоров, содержащих базовые элементарные фигуры (текстоны или структурные примитивы) в различном масштабе, ориентации, освещенности и, возможно, регулярности.

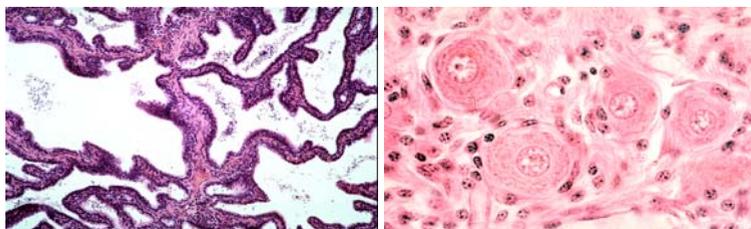
На рис. 1 представлены примеры текстур того типа, который является предметом изучения и обработки в данной диссертационной работе. Подобные текстуры можно рассматривать как реализации некоторого случайного яркостного поля с определенными статистическими свойствами. Именно такое математическое представление лежит в основе развитой в диссертации технологии обработки и распознавания текстурных изображений.

Рассмотрим, например, изображения гистологических препаратов щитовидной железы, полученные при различных опухолевых заболеваниях и для здоровых тканей. Каждому опухолевому заболеванию соответствуют определенные особенности текстурного изображения, касающиеся его структурных и яркостных характеристик. Квалифицированный врач с использованием своего многолетнего опыта может по изображению гистологического препарата сделать экспертное заключение о типе заболевания и, следовательно, о методе его лечения. Однако в силу огромного разнообразия форм заболеваний, многочисленности имеющихся эталонных образцов изображений возможны экспертные ошибки. Кроме того, число специалистов-экспертов столь высокого класса невелико. В связи с этим для распознавания рассматриваемых гистологических текстур

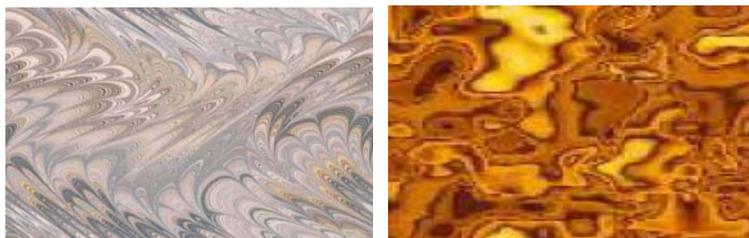
необходимо построить автоматизированную систему с высокой надежностью принятия решения. Задачей рассматриваемой автоматизированной системы является поиск в базе эталонных изображений, имеющих экспертное заключение о типе заболевания, одного или нескольких эталонов, наиболее близких к заданному изображению по яркостным и структурным свойствам.



Текстурные изображения в природе:
кора дерева и камни



Текстурные изображения гистологических препаратов



Декоративные узоры: перья павлина и легкая древесина

Рис. 1. Примеры текстурных изображений

Другой пример обработки текстур связан с глобальным метеорологическим прогнозом по состоянию ледового покрова Арктики. По свойствам текстурных изображений, полученных со

спутников Земли и сделанных в разных диапазонах длин волн, можно оценить степень таяния льдов или, напротив, нарастания новых ледовых масс. Эти данные содержат важную информацию для ученых, которые решают задачу прогноза состояния атмосферы и мирового океана.

Задача поиска изображений в базе данных возникает, например, у дизайнера, которому необходимо извлечь из нее одно или несколько изображений, подобных заданному. Возможно организовать подобный поиск по текстовому комментарию к изображениям, хранящимся в базе данных. Этот подход неудобен для пользователя. Желательно, чтобы при поиске автоматически использовались структурные и яркостные особенности сравниваемых изображений.

Приведенные выше примеры подтверждают актуальность поставленной в диссертации задачи – разработки и всестороннего исследования нового подхода к обработке и анализу текстурных изображений с целью их распознавания.

Цифровая обработка текстурных изображений представляет собой сложную методическую и вычислительную проблему. В теорию и практику обработки и распознавания текстурных изображений значительный вклад внесли Haralick, Gonzalez, Rosenfeld, Shapiro, Hawkins, Zhang J. и др. Тем не менее в настоящее время не создано теоретических основ и алгоритмических решений в области обработки текстурных изображений, которые бы удовлетворяли требованиям практики.

В диссертационной работе развивается новый методический подход к обработке текстур, основанный на понятии секущих линий изображений. Этот подход позволил ответить на следующие вопросы, связанные с проблемой распознавания текстур:

- как построить набор информативных признаков, которые полно описывают яркостные и структурные свойства текстурных изображений;
- как обеспечить инвариантность признаков относительно угла поворота, масштаба и освещенности сцены при регистрации изображения;
- какую использовать меру различия/близости двух текстурных изображений;

- как построить алгоритмическое обеспечение для создания быстродействующей системы распознавания текстурных изображений.

Практическая значимость поставленных теоретических проблем и необходимость создания эффективных программных средств обработки и распознавания текстурных изображений обуславливают актуальность данного диссертационного исследования.

Цель и задачи диссертационной работы

Целью работы является создание теоретической основы и алгоритмических средств анализа яркостных и морфологических свойств текстурных изображений, разработка пакета представительных информативных признаков текстур рассматриваемого типа и решение с их использованием задачи распознавания.

Объектом исследования являются текстурные изображения, рассматриваемые как случайные поля, характеризующиеся некоторыми структурными и яркостными свойствами. Предметом исследования являются методы обработки изображений, статистический анализ яркостных и структурных характеристик текстур, нейросетевые методы их распознавания и программные системы обработки и распознавания изображений.

Методы исследования

Для решения поставленных в диссертационной работе задач применены теория цифровой обработки изображений, методы статистического анализа данных, основы теории нейронных сетей, принципы построения нейросетевых классификаторов, а также технология создания прикладных программных систем.

Научная новизна

1. Введено понятие "секущей линии" изображения и "одномерных сегментов", расположенных вдоль секущих линий. Сформулирован основополагающий принцип, согласно которому статистические характеристики массива сегментов,

- выделенных на множестве секущих линий, полно отражают яркостные и структурные свойства текстурного изображения.
2. Рассмотрена матрица частот распределения сегментов по длине и средней яркости, характеризующая яркостные и структурные свойства случайного яркостного поля.
 3. Определены статистические признаки сегментов, которые содержат информацию о корреляционных свойствах исследуемой текстуры. К ним относятся матрицы смежности сегментов по длине и яркости с заданным параметром позиционирования, а также корреляционная функция плотности сегментов разных категорий в поле изображения.
 4. Обеспечена инвариантность решения задачи распознавания относительно угла поворота, масштаба и освещенности сцены при регистрации изображения текстуры.
 5. Предложено использовать среднеквадратичный и энтропийный показатели различия текстурных изображений в пространстве признаков, построенных с применением статистических характеристик сегментов.
 6. Рассмотрены особенности применения нейронной сети Хемминга и векторной параметрической нейронной сети для распознавания текстурных изображений в построенном пространстве признаков.
 7. Создана оригинальная программная система, в которой реализован разработанный в диссертации метод обработки текстурных изображений и предусмотрен необходимый инструментарий для проведения исследовательской работы.

Практическая значимость

Разработанный в диссертации метод дает возможность такой организации данных в базе текстурных изображений, которая позволяет осуществлять быстрый поиск текстур, близких к заданной по своим яркостным и структурным свойствам. Это позволяет решать различные прикладные задачи, связанные с обработкой и распознаванием текстурных изображений, в реальном времени анализа данных специалистами. Примером возможного использования предложенной технологии обработки

данных являются задачи медицинской диагностики (распознавание гистологических препаратов), целенаправленный быстрый поиск в базе данных изображений по ассоциации с заданной текстурой и пр. Учитывая большой объем накопленных текстурных изображений в различных прикладных областях и необходимость оперативной работы с имеющимися данными, полученные в диссертации результаты имеют важное практическое значение.

Достоверность научных результатов

Достоверность научных результатов подтверждена данными компьютерного экспериментального исследования в разработанной программной среде ПС, которая была экспонирована на выставке "Телекоммуникации и новые информационные технологии в образовании" (Москва, МИФИ) в 2007 г.

Апробация работы

Основные положения и результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на научных конференциях и семинарах: Научная сессия МИФИ (2004-2006 г.г.); XV международный научно-технический семинар «Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации» (Алушта, 18-25 сентября 2006 г.); IX всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2007» (Москва, 2007 г.); XI выставка-конференция «Телекоммуникации и новые информационные технологии в образовании» (Москва, 2007 г.). Ряд докладов, представленных на Научных сессиях МИФИ, были отмечены дипломами.

Основные научные результаты, выносимые на защиту

1. Новый принцип построения информативных признаков текстур, основанный на понятиях "секущей линии" изображения и одномерных сегментов, выделенных вдоль секущих линий.
2. Построение статистических признаков текстурных изображений, включающих таблицу частот распределения

сегментов по длине и яркости, а также признаки корреляционного типа.

3. Разработка алгоритмических средств распознавания текстурных изображений в построенном пространстве признаков с применением нейронной сети Хемминга и векторной параметрической нейронной сети.
4. Обеспечение инвариантности распознающей системы относительно угла поворота, масштаба и освещенности текстурной сцены при ее регистрации.
5. Программная система, предназначенная для выполнения исследований по изучению функциональных возможностей и точности распознавания текстурных изображений с использованием разработанного метода.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из Введения, четырех разделов, Заключения, библиографического списка и четырех Приложений. Основная часть диссертации содержит 128 страниц машинописного текста, включая 61 рисунок и 8 таблиц.

Публикации

По теме диссертационного исследования опубликованы 7 печатных работ.

Содержание работы

В разделе 1 диссертации дан аналитический обзор публикаций по теме диссертации. Рассмотрены различные алгоритмические подходы к описанию свойств текстурных изображений, сегментации и распознаванию изображений. Особое внимание уделено применению нейросетевых методов для распознавания изображений. Излагаются принципы построения нейронной сети Хемминга и векторной параметрической нейронной сети для решения поставленной в диссертационной работе задачи. Дается описание всех связанных с этими нейросетевыми архитектурами процедур, так как они используются и в настоящей работе.

Теоретические основы развитого в диссертации подхода к распознаванию текстурных изображений представлены в разделе 2. В нем определено понятие секущей линии изображения и описан способ выделения на секущих линиях одномерных сегментов, характеризующихся своей длиной, средней яркостью, координатным положением и ориентацией в плоскости изображения. На рис. 2 приведена иллюстрация к способу построения одномерных сегментов. Массив выделенных на изображении сегментов используется для формирования информативных признаков изображения: таблицы распределения частот встречаемости сегментов по длине и яркости, а также признаков корреляционного типа (матрицы смежности сегментов по длине и яркости и корреляционные функции для плотности распределения сегментов разных категорий в поле изображения).

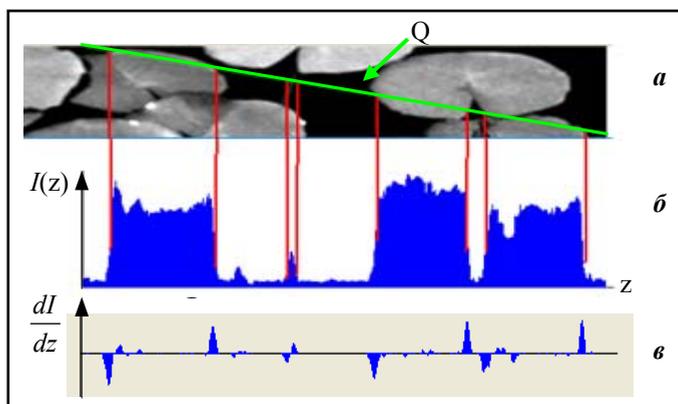


Рис. 2. Фрагмент изображения с секущей линией Q (а), функцией яркости

$I(z)$ (б) и производной $\frac{dI}{dz}$ (в) вдоль секущей линии

Благодаря переходу от пиксельного анализа текстурного изображения к анализу массива выделенных сегментов, в диссертации удалось построить алгоритмы преобразования сегментов по длине и яркости, обеспечивающие инвариантность решения задачи распознавания текстуры относительно угла поворота, масштаба и освещенности при регистрации изображений.

Найденное алгоритмическое решение приведено в разделе 2. На рис. 3 приведен пример случайного расположения секущих линий в поле текстурного изображения.

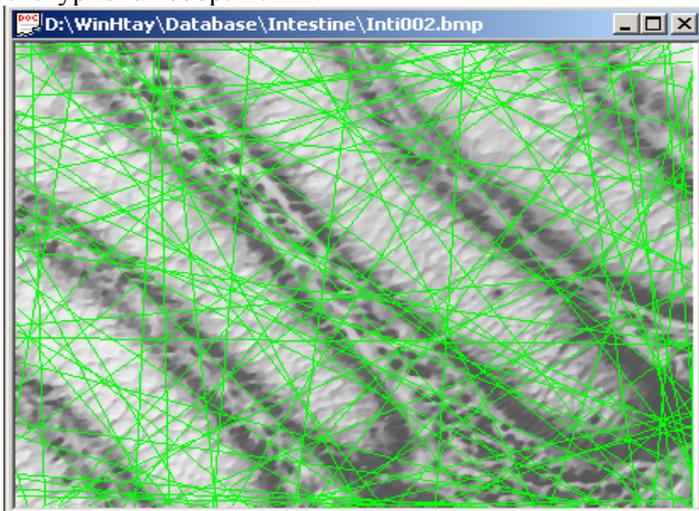


Рис. 3. Случайное расположение 200 секущих линий на изображении текстуры

Определение состава статистических признаков, которые с информационной точки зрения полно представляют свойства текстур, позволило ввести показатели близости/различия текстурных изображений в пространстве признаков. В диссертации в качестве такого показателя использован не только традиционный среднеквадратичный показатель, но и дифференциальная энтропия по Кульбаку.

Кроме того, в разделе 2 изложены особенности использования нейронной сети Хемминга и векторной параметрической нейронной сети для решения задачи распознавания текстур в пространстве статистических признаков одномерных сегментов.

Раздел 3 посвящен описанию программной системы ТИС, которая разработана с целью экспериментального исследования различных теоретических и практических вопросов по проблеме

распознавания текстурных изображений. В разделе 3 сформулированы основные функциональные задачи системы ТИС:

- предварительная обработка изображений,
- построение массива одномерных сегментов и расчет их статистических характеристик,
- создание, функционирование и использование базы эталонных изображений,
- распознавание изображений разными, в том числе нейросетевыми, методами,
- визуализация и документирование результатов вычислений,
- создание пакета специализированных процедур для выполнения и обработки результатов статистических экспериментов с целью оценки точности развитого в диссертации метода.

Особенности практического использования системы ТИС иллюстрируются на схемах, графиках, таблицах и гистограммах, построенных с использованием соответствующих средств разработанной программной системы. Для иллюстрации возможностей системы ТИС на рис. 4 приведено "окно" для проведения исследований точности нейросетевого распознавания текстур с помощью сети Хемминга.

Программная система ТИС демонстрировалась на выставке «Телекоммуникации и новые информационные технологии в образовании» и получила высокую оценку специалистов.

Заключительный четвертый раздел диссертации содержит результаты экспериментальных исследований, выполненных в рамках системы ТИС. Для постановки вычислительных экспериментов средствами системы ТИС была создана база эталонных изображений (БЭИ), включающая 80 изображений текстур разных типов. При создании БЭИ строились 500 секущих линий для получения надежных статистических оценок используемых признаков одномерных сегментов. Для проверки распознающих свойств построенной системы ТИС на ее вход подавались текстурные изображения, не содержащиеся в базе данных. Система находит в БЭИ несколько (обычно рассматриваются пять) изображений, которые с точки зрения

используемого критерия имеют наибольшее сходство с входным изображением. Каждому из найденных в БЭИ изображений соответствует определенное значение критерия, так что путем их сравнения можно объективно оценить, какую часть из полученных изображений БЭИ можно действительно рассматривать как удовлетворительное решение поисковой задачи.

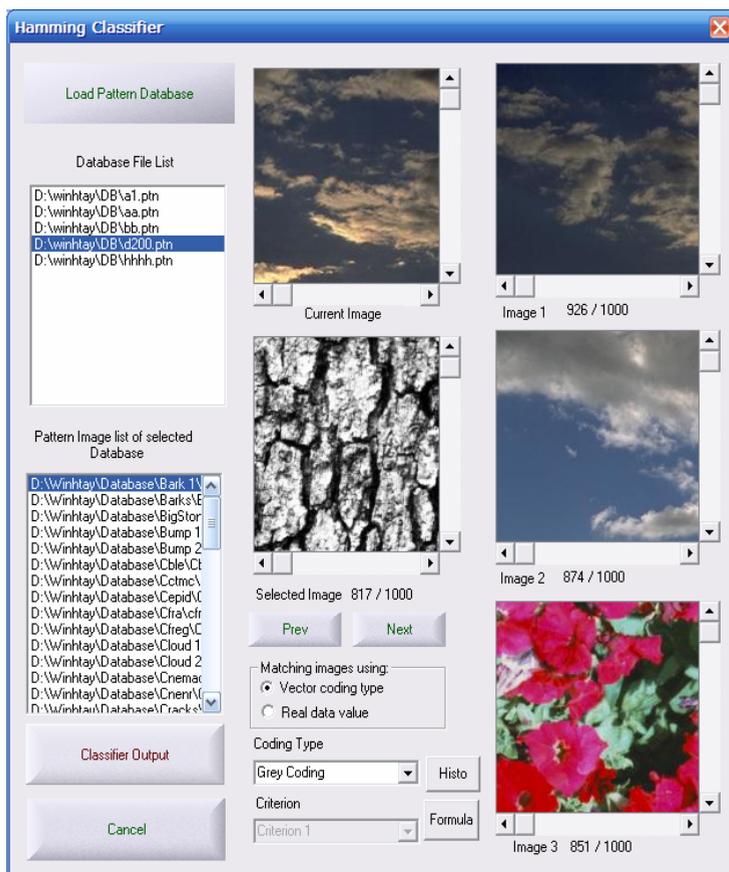


Рис. 4. "Окно" исследования точности нейросетевого классификатора Хемминга с кодированием признаков по Грею

В четвертом разделе показано экспериментально, что используемые в работе статистические характеристики текстурных изображений являются устойчивыми показателями их яркостных и морфологических свойств. Проведенные исследования показали, что эти характеристики практически не зависят от случайной реализации расположения секущих линий в плоскости изображения. Экспериментальные исследования показали также быструю сходимость рекомендованных для описания текстурных изображений статистических характеристик при увеличении числа секущих линий. Это свойство иллюстрируется на рис. 5: на горизонтальной оси указано число секущих линий, а на вертикальной – точность оценивания элементов матрицы частот.

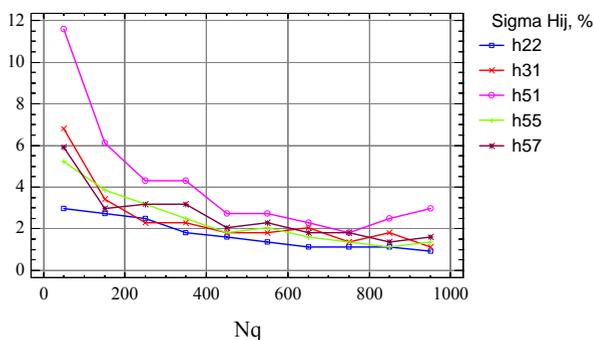


Рис. 5. Точность оценивания элементов матрицы частот для текстурного изображения "камни"

Специальный эксперимент, описанный в разделе 4, посвящен анализу точности распознавания текстур с применением векторной параметрической нейронной сети. С учетом предложенной в работе модификации правила принятия решения при использовании векторной параметрической нейросети удалось существенно снизить ошибку распознавания текстурного изображения.

На рис. 6 представлен пример поиска в БЭИ текстур, подобных заданной на входе распознающей системы и не содержащейся в БЭИ. Визуальный анализ и объективные количественные показатели свидетельствуют о точности принятого системой решения.

Входное изображение:
"кора дерева"



Результат поиска векторной нейронной сетью подобных изображений в БЭИ



Рис. 6. Пример распознавания текстурного изображения системой ТИС

В разделе 4 представлен результат исследования быстродействия разработанного алгоритмического и программного обеспечения. Эксперимент проводился в следующих условиях: число эталонов в БЭИ – 86, максимально допустимое число эталонов в БЭИ – 10000 (число выходов векторной нейронной сети - 4), размер изображения - 300*400, размерность пространства признаков – 100, число секущих линий изображения – 500, объем оперативной памяти – 256 Мб, тактовая частота компьютера – 2.4 ГГц. В указанных условиях поиск в БЭИ пяти "лучших" изображений с помощью векторной нейронной сети выполняется менее чем за 0.3 с.

Приложения 1-4 содержат описание особенностей реализации и интерфейса программной системы ТИС, а также набор текстурных изображений в БЭИ, которые использовались при проведении экспериментальных исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработан новый методический подход к статистическому описанию текстурных изображений, использующий введенное в работе понятие "секущей линии" изображения. Предложенный подход позволил заменить статистический анализ двумерного яркостного поля обработкой одномерных сегментов вдоль секущих линий, случайно расположенных в поле изображения.
2. Определены статистические признаки текстурного изображения как статистические характеристики выделенных на текстурном изображении одномерных сегментов. Введены статистические признаки двух типов: матрица распределения частот встречаемости сегментов по длине и средней яркости и признаки корреляционного типа. Это позволило характеризовать любое текстурное изображение точкой в пространстве признаков.
3. Определены статистические признаки сегментов, которые содержат информацию о корреляционных свойствах исследуемой текстуры. К ним относятся матрицы смежности сегментов по длине и яркости с заданным параметром позиционирования, а также корреляционная функция плотности сегментов разных категорий в поле изображения.
4. Обеспечена инвариантность предложенного набора информативных признаков текстурного изображения относительно угла поворота, масштаба и освещенности сцены при регистрации изображения текстуры.
5. Предложено использовать среднеквадратичный и энтропийный показатели различия текстурных изображений в пространстве признаков. Экспериментально показана полнота предложенного набора признаков и способность используемых критериев к выделению в базе данных изображений, подобных заданному на входе распознающей системы. Установлено, что энтропийный критерий обладает лучшими селективирующими свойствами по сравнению со среднеквадратичным показателем.
6. Рассмотрены особенности применения нейронной сети Хемминга и векторной параметрической нейронной сети для распознавания текстурных изображений в построенном пространстве признаков. Экспериментально установлены

некоторые ограничения по применению нейросетевых классификаторов изученного типа, связанные с кодированием информативных признаков.

7. Разработана оригинальная программная система ТИС, в которой реализована разработанная в диссертации технология обработки текстурных изображений и создан необходимый инструментарий для проведения исследовательской работы. Выполненные в рамках системы ТИС исследования подтвердили рациональность предложенных в работе характеристик текстурных изображений, возможность их распознавания в построенном пространстве признаков и эффективность разработанного алгоритмического обеспечения.

8. Предложенный в диссертации метод обработки и распознавания текстурных изображений позволит решать ряд прикладных задач, в том числе, задачи медицинской диагностики (распознавание гистологических препаратов) и задачи быстрого поиска изображений в базе данных по ассоциации с заданной текстурой. Простота разработанных вычислительных схем обеспечивает возможность обработки данных в темпе реального времени анализа данных специалистами.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

1. Вин Тхей. Алгоритмы и программы сегментации изображений для автоматизации анализа гистологических препаратов. // Научная сессия МИФИ-2005. М.:МИФИ, 2005. Сборник научных трудов. Т.2.
2. Мишулина О.А., Вин Тхей. Метод распознавания изображений гистологических препаратов в задачах медицинской диагностики. // Научная сессия МИФИ-2006. М.:МИФИ, 2006. Сборник научных трудов. Т.3.
3. Мишулина О.А., Вин Тхей. Система обработки изображений в задаче медицинской диагностики. // Научная сессия МИФИ-2006. М.:МИФИ, 2006. Сборник научных трудов. Т.2.
4. Мишулина О.А., Вин Тхей. Классификация текстурных изображений с использованием векторной нейронной сети. // XV международный научно-технический семинар «Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации». Алушта, 18-25 сентября 2006 г.
5. Мишулина О.А., Вин Тхей. Признаки корреляционного типа в системе распознавания текстурных изображений. // Научная сессия МИФИ-2007. М.:МИФИ, 2007. Сборник научных трудов. Т.2.
6. Мишулина О.А., Вин Тхей. Распознавание текстурных изображений на векторной нейронной сети. // IX всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2007». Сборник научных трудов. М.:МИФИ, 2007. Ч.1. С. 146-157.
7. Мишулина О.А., Вин Тхей. Технология секущих линий для обработки и классификации текстурных изображений. // Научная сессия МИФИ-2007. М.:МИФИ, 2007. Сборник научных трудов. Т.10. Каталог выставки «Телекоммуникации и новые информационные технологии в образовании».