

На правах рукописи

Корябкина Ирина Валентиновна

**Эффективные способы и средства  
описания изображений в задачах распознавания**

Специальность 05.13.17 - Теоретические основы информатики

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва 2006

Работа выполнена в Вычислительном центре  
им. А.А. Дородницына Российской академии наук

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук  
И.Б. Гуревич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
В.С. Киричук  
кандидат физико-математических наук  
О.В. Сенько

Ведущая организация: Научно-исследовательский институт  
прикладной математики и кибернетики  
Нижегородского государственного  
университета им. Н.И. Лобачевского

Защита состоится « 21 » декабря 2006 г. В \_\_\_ часов на заседании  
диссертационного совета Д002.017.02 Вычислительного центра им.  
А.А. Дородницына Российской академии наук по адресу: 119991, Москва,  
ул. Вавилова, 40.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Вычислительного Центра  
им. А.А. Дородницына Российской академии наук

Автореферат разослан « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2006 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор физико-математических наук

В.В. Рязанов

## Общая характеристика работы

### Актуальность темы

Разработка, исследование и реализация методов решения задач анализа, распознавания и оценивания изображений является одним из ведущих направлений информатики. Результаты соответствующих фундаментальных и прикладных исследований непосредственно используются в технической диагностике, неразрушающем контроле, дистанционном зондировании, экологическом мониторинге, прогнозировании и диагностике в медицине, планировании, поиске в геологии, прогнозировании в химии, автоматизации научных исследований. Данная тематика привлекает значительное число исследователей, однако, подавляющее большинство работ в данной области имеет эмпирический характер.

До сих пор по большей части применяются методы обработки изображений, заимствованные из цифровой обработки сигналов, и традиционные математические методы (главным образом, статистические). Известны публикации, посвященные возможностям расширения используемого при анализе изображений математического аппарата (например, вейвлетов, фракталов, метода регуляризации) и применения методов и аппарата математической теории распознавания.

"Алгебраизация" обработки, анализа и распознавания изображений считается во всем мире актуальным и перспективным направлением исследований. Идея построения унифицированной теории для различных понятий и операций, использующихся в обработке изображений и сигналов, появилась впервые в работах Ангера (Unger, 1958) (распараллеливание алгоритмов обработки и анализа изображений на ЭВМ с клеточной архитектурой). Отдельные концепции алгебраического подхода к обработке изображений нашли отражение в теории образов У.Гренандера (алгебраическое описание анализируемых объектов), и алгебре изображений Г.Риттера (алгебраическое представление операций обработки и анализа изображений). Наибольший интерес представляет дескриптивный подход к анализу и пониманию изображений, разработанным И.Б. Гуревичем в качестве специализации общего алгебраического подхода Ю.И.Журавлева к решению задач распознавания, классификации и прогнозирования на случай представления исходных данных в виде изображений. Фундаментальными составляющими дескриптивного подхода являются формальные представления изображений (классы моделей изображений и признаковых описаний изображений), порождающие дескриптивные деревья, понятие эквивалентности изображений и дескриптивные алгебры изображений.

Наиболее близки к проблеме автоматизации анализа изображений дескриптивный подход к анализу и распознаванию изображений И.Б.Гуревича, алгебра изображений Риттера и теория образов Гренандера. К сожалению, результаты теоретических исследований не находят широкого применения в задачах распознавания изображений. В значительной степени это связано с тем, что для применения формализованных алгебраических конструкций к изображениям необходимо, прежде всего, достичь степени

формализации исходной информации, допускающей использование соответствующих алгоритмов распознавания.

Сравнительно недавно пришло осознание необходимости разбиения задачи распознавания изображений на задачу приведения изображений к виду удобному для распознавания и собственно задачу распознавания. В связи с этим возникла потребность в разработке методов и средств построения формальных описаний изображений.

### **Цели и задачи диссертационной работы**

Диссертационная работа посвящена исследованию информационной природы изображения как средства представления и передачи информации и исследованию методов формального описания изображений в задачах анализа и распознавания изображений с целью автоматизации выбора алгоритма преобразования изображений.

Для достижения поставленной цели были проведены следующие исследования:

1. Исследование средств и способов формального описания изображений как основы для выбора алгоритма распознавания изображений, в том числе исследование моделей изображений и признаков изображений.
2. Построение классификаций признаков, используемых в задачах распознавания изображений.
3. Сравнительный анализ информационных характеристик изображений и признаков изображений, используемых в задачах распознавания изображений.
4. Разработка метода выбора преобразования изображения в зависимости от информационных характеристик анализируемого изображения.
5. Разработка библиотеки программ вычисления признаков изображений и построения признаковых описаний изображений.
6. Решение прикладных задач с использованием полученных теоретических результатов.

### **Научная новизна**

Задачи и результаты работы предназначены для использования при разработке автоматизированных систем анализа и распознавания изображений широкого назначения, не связанных с узкой предметной областью, а также для решения особо важных прикладных задач и классов и отдельных задач, возникающих в тех случаях, когда автоматизация принятия интеллектуальных решений основана на методах распознавания образов, а исходная информация представляется в виде изображений, полученных в широких диапазонах условий наблюдения и средств регистрации. Создание нового поколения таких систем существенно связано с возможностью автоматизации выбора метода преобразования изображения в зависимости от его информационной природы и семантики. Одним из основных направлений разработки таких систем является автоматизация выполнения их отдельных

функций, в частности выбора методов описания и преобразования изображений с учетом их информационной природы.

### **Методы исследования**

В диссертационной работе используются математические методы распознавания образов, методы обработки, анализа и распознавания изображений, методы дескриптивной теории анализа изображений, методы статистического анализа.

### **Практическая ценность**

Научная и практическая ценность работы определяются прямой возможностью использования разработанных и программно реализованных алгоритмов вычисления признаков изображений для решения широкого круга задач, сводящихся к задачам распознавания изображений, в различных прикладных областях (автоматизация научных исследований, прогнозирование и диагностика в медицине и химии, техническая диагностика, неразрушающий контроль, дистанционное зондирование, экологический мониторинг и др.)

Разработанная библиотека алгоритмов вычисления признаков изображений зарегистрирована в ФГУП «Всероссийский научно-технический информационный центр».

### **Апробация полученных результатов**

В основу диссертационной работы положены результаты, полученные автором в ходе исследований, проводимых в рамках НИР по проектам:

1. Российский фонд фундаментальных исследований:
  - проект 01-07-90016 “Система для автоматизации исследования, сравнения и тестирования алгоритмов анализа и оценивания информации, представленной в виде изображений”,
  - проект 02-01-00182 “Исследование информационной природы изображений на основе понятий эквивалентности и инвариантности в задачах распознавания”,
  - гранты поддержки молодых ученых, аспирантов и студентов № 01-07-06014, 02-07-06031, 03-07-06058,
  - проект 03-07-90406 “Информационная технология и поддерживающий программно-алгоритмический комплекс для интерактивного морфологического анализа и классификации клеток крови”,
  - проект 05-01-00784 “Приведение изображений к виду, удобному для распознавания. Методы и модели”,
2. Проект № 2.14 “Разработка и реализация методов анализа и оценивания слабо структурированной информации в интеллектуальных системах распознавания” Президиума Российской академии наук,
3. Соглашение между РАН и Национальным советом исследований Италии:

- совместный проект “Анализ и синтез изображений в задачах нейроинформатики. Теоретические основы и разработка прототипа инструментально-программного комплекса”,
  - совместный проект “Анализ и синтез изображений. Теоретические основы и разработка прототипа алгоритмическо-программного комплекса для анализа медицинских изображений”,
4. Проект № 37.011.11.0016 “Открытая исследовательская система широкого назначения для автоматизации разработки и применения информационных технологий обработки, анализа и оценивания изображений” ФЦНТП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники» на 2002-2006 годы Министерства образования и науки Российской Федерации,
  5. Международная Ассоциация содействия сотрудничеству с учеными из новых независимых государств бывшего Советского Союза (ИНТАС):
    - проект поддержки молодых ученых, INTAS YSF 03-55-1798,
    - проект 04-77-7067 «Извлечение знаний из медицинских изображений: теоретические основы и технологические аспекты».

Разработанное алгоритмическое и программное обеспечение внедрено и используется (использовалось) для выполнения плановых НИР в следующих организациях:

- Научный совет по комплексной проблеме «Кибернетика» РАН,
- Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН,
- Гематологический научный центр РАМН,
- Институт систем обработки изображений РАН,
- Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, факультет Вычислительной математики и кибернетики,
- Научно-исследовательский институт прикладной математики и кибернетики Нижегородского государственного университета им. Н.И.Лобачевского.

Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на:

- 6-ой Всероссийской с участием стран СНГ конференции «Методы и средства обработки сложной графической информации» (Нижний Новгород, сентябрь 2001),
- 5-ой Международной конференции «Распознавание-2001» (Курск, 2001),
- Международной конференции Международной ассоциации «Наука и технологии для развития» совместно с Сибирским отделением РАН «Автоматизация, контроль и информационные технологии», (Новосибирск, июнь 2002),
- 6-ой Международной конференции «Распознавание образов и анализ изображений: новые информационные технологии» (Великий Новгород, октябрь 2002),
- 6-м Открытом российско-немецком семинаре «Распознавание образов и понимание изображений» (OGRW-6-2003) (Катунь, август 2003),

- 13-ой Скандинавской конференции по анализу изображений (Гетеборг, Швеция, июнь-июль 2003),
- 7-ой Международной конференции «Распознавание образов и анализ изображений: новые информационные технологии» (Санкт-Петербург, октябрь 2004),
- Международной научной конференции «Современные информационные и телемедицинские технологии для здравоохранения» (Минск, Беларусь, ноябрь 2005).

Основные положения работы освещены в 10 опубликованных печатных работах.

### **Структура и объем работы**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, приложения и списка литературы. Объем основного текста работы – 138 страниц, список литературы включает 179 наименований.

### **Результаты, выносимые на защиту**

1. Метод выбора преобразования изображений, позволяющий учитывать информационную природу изображений, и его программная реализация.
2. Критерии классификации признаков, используемых для описания изображений.
3. Классификация признаков изображений как формального средства описания изображений.
4. Метод построения многоаспектных описаний изображений на основе классификаций признаков изображений.
5. Пример применения разработанного метода выбора преобразования изображений в задаче автоматизации медицинской диагностики.
6. Библиотека вычисления признаков изображений для инструментально-программного комплекса автоматизации научных исследований и обучения в области обработки, анализа, распознавания и понимания изображений «Черный квадрат».

### **Содержание работы**

*Во введении* обозначены предмет и задачи исследования, показана актуальность темы исследования. Кратко изложено содержание работы, перечислены результаты проведенных исследований, приведены сведения об апробации и практическом использовании результатов работы.

*В первой главе* проведен анализ структуры процесса распознавания изображений, выделены его основные шаги; показано, что построение модели изображения является существенным шагом решения задачи анализа и распознавания изображений. Основное внимание в данной главе и в работе в целом уделяется шагу «Выделение признаков изображений и построение модели/признакового описания исходного изображения».

Проведен анализ различных моделей изображений, используемых как в когнитивной психологии, так и в анализе изображений. Исследованы следующие классы моделей изображений:

1. Классы моделей, порождаемые методами когнитивной психологии:
  - a. Класс 1: модели, основанные на сопоставлении эталонов.
  - b. Класс 2: модели, основанные на наборе признаков.
  - c. Класс 3: модели, основанные на преобразовании Фурье.
  - d. Класс 4: структурные модели.
2. Классы моделей, отражающие методы визуализации.
  - a. Класс 1: представимые изображения.
  - b. Класс 2: абстрактно-графические изображения.
  - c. Класс 3: пиктограммы.
3. Классы моделей, порождаемые методами представления и обработки изображений:
  - a. Класс 1: тоновые и цветные изображения.
  - b. Класс 2: двухуровневые (или представляемые в нескольких «цветах») изображения.
  - c. Класс 3: непрерывные кривые и линии.
  - d. Класс 4: точки и многоугольники.
4. Классы моделей, выделяемые в дескриптивном подходе к анализу и распознаванию изображений:
  - a. Класс 1: I – модели.
  - b. Класс 2: P – модели.
  - c. Класс 3: G – модели.
  - d. Класс 4: T – модели.

В результате проведенного анализа была выделена признаковая модель изображений как наиболее часто используемая и применяемая как в когнитивной психологии, так и в анализе изображений. Обоснован выбор признаковой модели изображений для дальнейшего исследования, выделены основные задачи, в которых используются признаки изображений. Поскольку понятие «признак изображения» неоднозначно трактуется в литературе, было выделено четыре наиболее характерных способа определения понятия «признак изображения»:

- признак – «интересная точка на изображении»;
- признак – производный элемент;
- признак – числовая характеристика;
- признак – элемент допустимого пространства.

В рамках данной работы использовано понятие признака типа 3 (параметрического признака), а именно, под признаком изображения понимается результат вычисления некоторой функции  $f$ , вычисленной на изображении как в результате, так и в процессе его обработки. В качестве примеров признаков можно привести площадь объекта, значение градиента, среднюю яркость изображения и др. Следует особо подчеркнуть, что указанная функция  $f$  может вычисляться как на изображении, так и на результатах его предварительной обработки.

Сформулированы наиболее важные требования к признакам, используемым для решения задачи распознавания изображений:

1. Признак должен быть информативным, т.е. содержать информацию, существенную для данного изображения в контексте решаемой задачи, и способствовать правильной классификации объектов.

2. Признак должен допускать обработку алгоритмом распознавания изображений, т.е. иметь формат, приемлемый для выбранного алгоритма распознавания.

3. Признак должен позволять строить модель изображения.

4. Признак должен входить в минимальный набор признаков (или модель изображения), отражающий специфику распознаваемого объекта в контексте задачи.

5. Временная сложность вычисления признака не должна превышать выгоды от его использования для решения данной задачи.

Выделены основные задачи анализа и распознавания изображений, в которых используются признаки изображений.

**Вторая глава** посвящена анализу и классификации признаков, используемых в настоящее время при распознавании изображений. Установлено, что в целом, вопросы классификации признаков изображений, выделения существенных характеристик признаков изображений и поиска регулярного базиса для выбора признаков изображений в зависимости от природы рассматриваемого изображения в литературе не рассматриваются, хотя авторы часто ссылаются на необходимость таких исследований.

Понимание важности этапа выбора признаков при решении задач анализа изображений влечет за собой необходимость рассмотреть существующие способы классификации и описания признаков изображений и выработать такой способ, который позволяет эффективно описывать изображения в различных задачах распознавания. Для разработки эффективной классификации признаков изображений сформулированы требования, предъявляемые к такой классификации:

- 1) классификация признаков изображений должна быть полной, т.е. охватывать все основные группы признаков;
- 2) поскольку порождение новых классов для новых признаков противоречит смыслу задачи классификации, то классификация признаков изображений должна быть «универсальной», т.е. выделенных классов должно быть достаточно для классификации максимально возможного количества новых признаков;
- 3) классификация признаков изображений должна быть непротиворечивой, т.е. классы, выделенные по одному основанию деления, не должны пересекаться;
- 4) классификация должна быть достоверной, т.е. должна наиболее точно отражать знания о признаках изображений, используемых в задачах распознавания и анализа изображений;

5) классификация признаков изображений должна быть «логичной», т.е. основания классификации должны быть понятны специалистам в области распознавания образов и анализа изображений.

Перечислены основные литературные источники, использованные для классификации и систематизации признаков изображений. Выделены два наиболее общих принципа характеристики признаков изображений – зависимость признаков изображений от исходных данных (изображений) и от способов получения признаков. Классификации признаков изображений, не отражающие эти принципы, были выделены в группу «Классификации признаков изображений, основанные на наличии у признаков некоторых специальных свойств».

Выделены следующие принципы классификации, основанные на информации об исходном изображении:

- 1) тип изображения, служащего основой для вычисления признака;
- 2) тип модельного представления изображения, служащего основой для вычисления признака;
- 3) область изображения, на которой вычисляется признак;
- 4) тип объекта, служащего основой для вычисления признака.

Рассмотрение математических средства и способов, используемых для вычисления признаков изображений, позволяет выделить классификации признаков изображений в зависимости от способа получения признака:

- 1) «уровень» признака;
- 2) способ синтеза признака;
- 3) тип пространства, допустимым элементом которого является признак;
- 4) математический аппарат, используемый для вычисления признака.

В качестве специальных свойств признаков изображений, которые могут служить основанием классификации, были выделены такие свойства как инвариантность и восстановительная способность признаков изображений.

Подробно изучены способы объединения признаков в различные классы, рассмотрены основные из известных классификаций признаков, в том числе, предложенные автором работы, принципы, их порождающие, и проведен анализ наполнения этих классификаций признаками. Выбранная процедура анализа обеспечивает разделение признаков на классы, в зависимости от способов их порождения, вычисления и использования. Построена сводная таблица (Рис. 1), отражающая все рассмотренные классификации и соответствующие классы признаков изображений.

Проведенный анализ показал, что ни одна из предложенных и рассмотренных классификаций не может являться полноценным средством описания всевозможных признаков изображений и основой для выбора признаков в зависимости от исходных данных и решаемой задачи. В то же время рассмотренные классификации признаков изображений позволяют создавать многоаспектные представления изображений, сохраняющие информацию, существенную для решения прикладной задачи. Удобным средством выбора признаков в зависимости от особенностей решаемой

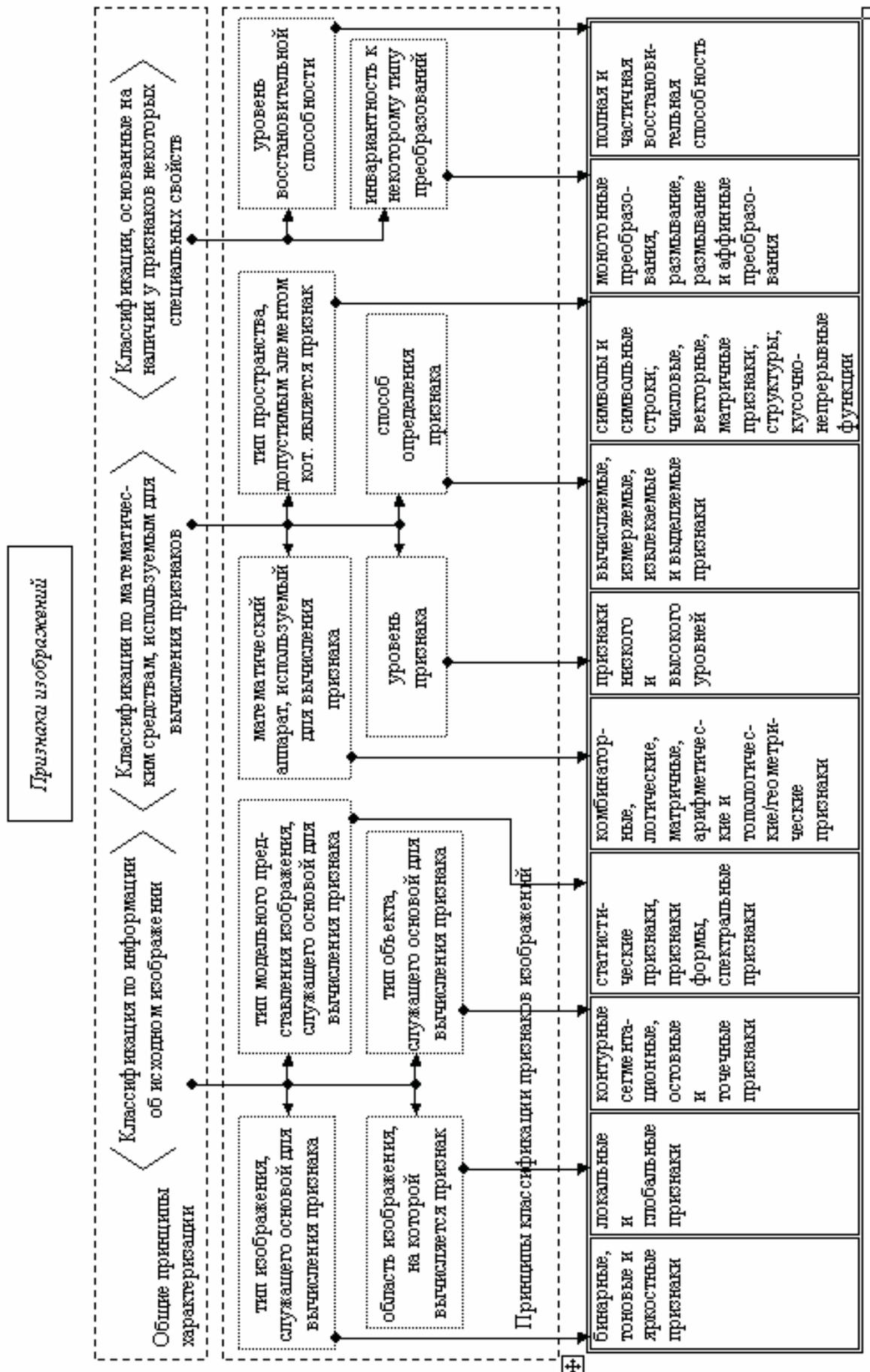


Рис. 1. Сводная таблица классификаций признаков изображений.

задачи и исходных данных являются параметрические порождающие дескриптивные деревья (ПДД), они поддерживают создание и использование многоаспектных представлений изображений на основе различных классификаций признаков изображений.

**В третьей главе** на основе анализа информационных свойств изображений и введенного понятия эквивалентности изображений предложен метод выбора преобразований изображения в зависимости от информационных характеристик изображений в задачах распознавания. Выделены и подробно описаны основные шаги предложенного метода. Предложенный метод увеличивает эффективность выбора алгоритмов анализа изображений и автоматизации (частичной или полной) обработки изображений и позволяет учитывать синтаксическую и семантическую информацию изображения при выборе алгоритмов анализа изображений. Рассмотрены математические постановки задачи распознавания, являющиеся необходимым шагом формализации процесса распознавания изображений для дальнейшей его автоматизации, показано, что при некоторых ограничениях классы изображений, задаваемые задачей распознавания, являются классами эквивалентности изображений.

Предлагаемый метод выбора преобразований изображения в зависимости от информационных характеристик изображений в задачах распознавания основывается на дескриптивном подходе к анализу изображений и использует гипотезы, состоящие в том, что:

а) всякое изображение обладает определенной регулярностью или смесью регулярностей различных типов;

б) каждому классу эквивалентности изображений соответствует некоторый класс преобразований, применение которых к изображению/модели изображения не выводит результат преобразования за пределы соответствующего класса эквивалентности.

Выделены и подробно описаны основные шаги предложенного метода. Шаг 1. Характеризация изображения - устанавливается класс эквивалентности, к которому принадлежит исходное изображение.

$$P_{image\_characterization} = P(I^* \in \{I_I\}) \quad (1)$$

Шаг 2. Построение модели изображения – изображение приводится к виду, удобному для распознавания, с помощью базисных операций класса преобразований, поставленного в соответствие классу эквивалентности изображения.

$$\mathfrak{R}(I^*) = t(I^*), \text{ где } t \in \{T_I\}. \quad (2)$$

Шаг 3. Определение класса эквивалентности, к которому относится модель изображения.

$$P_{image\_model\_characterization} = P(\mathfrak{R}(I^*) \in \{\mathfrak{R}(I_1^M)\}). \quad (3)$$

Если верно:

$$P_{image\_model\_characterization} = 1, \quad (4)$$

то имеется множество алгоритмов распознавания, решающих задачу оптимальным образом. Данный шаг поддерживает выбор наиболее эффективного алгоритма распознавания изображений. Поскольку различные алгоритмы принимают на входе различный формат данных, в различных задачах преследуются разные цели и классы эквивалентности изображений отличаются семантическими особенностями объектов классов, необходимо определить класс эквивалентных изображений так, чтобы искать оптимальный алгоритм среди заведомо подходящих.

Если, напротив,

$$P_{image\_model\_characterisation} = 0, \quad (5)$$

то становится очевидным, что гипотеза, принятая на шаге 1, не верна. В таком случае необходимо выдвинуть новую гипотезу о том классе эквивалентности, к которому принадлежит исходное изображение.

Шаг 4. Классификация модели изображения.

$$a = A(\mathfrak{R}(I^*)), \quad (6)$$

На данном шаге выбирается оптимальный алгоритм распознавания  $A$  из распознающих операторов из класса преобразований, поставленного в соответствие классу эквивалентности модели изображений. С помощью этого алгоритма решается поставленная задача распознавания.

Шаг 5. Проверка правильности характеристики изображения - восстановление класса эквивалентности исходного изображения по результату распознавания  $a$  при помощи обратных преобразований из класса  $\{T_{inv}^1\}$ , поставленного в соответствии использованному классу эквивалентности изображений.

$$\mathfrak{R}'(I^*) = t_{inv}^1(a), \text{ где } t_{inv}^1 \in \{T_{inv}^1\}. \quad (7)$$

$$P_{class\_correct} = P(\mathfrak{R}'(I^*) \in \{\mathfrak{R}(I_1)\}). \quad (8)$$

Если

$$P_{class\_correct} = 1, \quad (9)$$

то задача была решена корректно. Если

$$P_{class\_correct} = 0, \quad (10)$$

то класс эквивалентности исходного изображения на шаге 1 был определен неверно.

В том случае, если изображение изначально было неверно классифицировано, выдвигается гипотеза о принадлежности данного изображения к другому классу эквивалентности. Поставленная задача решается с учетом этой гипотезы. Процедура повторяется до тех пор, пока задача не будет эффективно решена.

Предложенный метод представлен в виде алгоритмической схемы на рис. 2. Данный метод увеличивает эффективность выбора алгоритмов анализа изображений и автоматизации (частичной или полной) обработки

изображений и позволяет учитывать синтаксическую и семантическую информацию изображения при выборе алгоритмов анализа изображений.

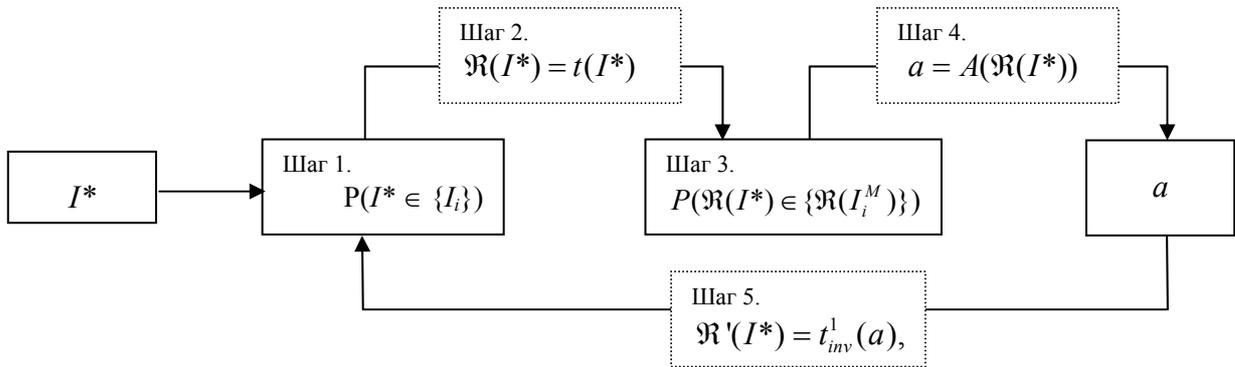


Рис. 2. Алгоритмическая схема, реализующая метод выбора преобразований изображений в задачах распознавания (для каждой гипотезы о классе эквивалентности изображений)

Введены и исследованы понятие эквивалентности изображений, основанное на совпадении информационных векторов, описывающих изображения (Определение 1), эквивалентность относительно множества преобразований, эквивалентность относительно метрики, также рассмотрены другие способы задания эквивалентности в задачах распознавания изображений.

*Определение 1.* Изображения называются эквивалентными относительно распознающего алгоритма  $A$ , если их информационные векторы, построенные алгоритмом  $A$ , совпадают.

Показано, что при некоторых ограничениях классы изображений, определяемые задачей распознавания, являются классами эквивалентности изображений.

*Теорема.* О классах эквивалентности в задаче распознавания. Пусть дана задача распознавания изображений  $Z^2 \left( \left\{ I_i^{n_i} \right\}_{i=1,2,\dots,q}^{1 \leq n_i \leq p_i}, \left\{ K_t \right\}_{t=1,2,\dots,l}, \left\{ P_t^i \right\}_{i=1,2,\dots,q}^{i=1,2,\dots,q} \right)$ ,

где  $I_i^{n_i}$  - изображения,  $i=1,2,\dots, q$  ( $i$  - классы эквивалентности на множестве  $\{I_i^{j_i}\}$ ,  $q$  - количество классов эквивалентности изображений),  $n_i$  - номер изображения - представителя класса эквивалентности,  $I_i^{n_i} \in M_i$ ;  $K_t$  - классы в задаче распознавания изображений ( $t=1,2,\dots,l$ ;  $l$  - количество классов в задаче распознавания изображений);  $P_t^i: "I_i^{n_i} \in K_t"$  - предикаты. Задача  $Z^2$  состоит в том, чтобы найти значения предикатов  $P_t^i$ . Тогда классы  $K_t$  являются классами эквивалентности изображений.

На основе Дескриптивного подхода к анализу изображений и рассмотренных классификаций признаков изображений введено и изучено понятие параметрического ПДД.

*Определение 2. Порождающее дескриптивное дерево* - это древовидная структура, предназначенная для классификации и автоматизации порождения формальных представлений изображений и обладающая следующими свойствами:

- 1) каждый элемент дерева называется *дескриптором* и отражает какие-либо свойства изображений;
- 2) элемент дерева может иметь только единственного родителя;
- 3) если элемент дерева не имеет родителя, то он называется *корнем ПДД*;
- 4) элемент дерева может иметь бесконечное число потомков;
- 5) элемент дерева, не имеющий потомков, называется *листом ПДД*.

Параметрические ПДД характеризуются тем, что для их построения используются Р-модели изображений, т.е. их признаковые описания. Для каждой из рассмотренных классификаций построено параметрическое ПДД, основанное на соответствующем основании деления.

Для отражения многоаспектной информации, представленной в изображении и использования разных оснований деления признаков изображений, были введены два способа объединения параметрических ПДД:

- 1) Объединение корней ПДД с различными основаниями деления;
- 2) Суперпозиция классификаций путем последовательного использования оснований деления.

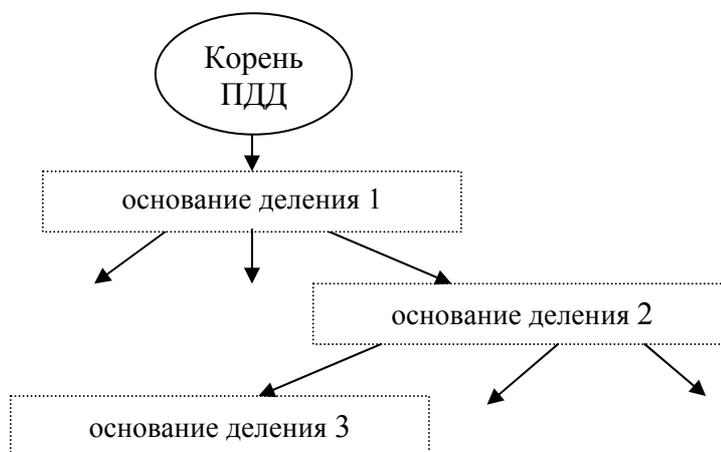


Рис. 3. Схема объединенного ПДД  
(суперпозиция классификаций с различными основаниями деления)

Построены примеры, иллюстрирующие каждый из введенных способов. На рис. 3 и 4 приведены схема и пример объединения ПДД путем суперпозиции классификаций с различными основаниями деления.

**Глава четыре** посвящена практическому исследованию полученных теоретических результатов, программной реализации библиотеки признаков изображений и применению предложенного в главе 3 метода для решения задачи анализа цитологических изображений.



Рис. 4. Объединение ПДД путем суперпозиции классификаций с различными основаниями деления (иллюстративный пример)

Описана библиотека вычисления признаков изображений, программно реализованная в рамках алгоритмического-программного комплекса для автоматизации научных исследований и обучения в области обработки, анализа, распознавания и понимания изображений «Черный квадрат», приведены характеристики разработанной библиотеки, описан сценарий работы с библиотекой. В настоящее время библиотека включает 122 признака, однако, по мере возникновения новых задач, в которых библиотека должна быть использована, набор признаков будет расширяться.

Признаки в библиотеке разделены на классы. При выборе основания деления были проанализированы принципы классификации признаков изображений, рассмотренные в главе 2 настоящей работы. В результате анализа был выбран принцип классификации «Классификация признаков по математическому аппарату, используемому для определения признаков» как наиболее полно отражающий специфику практической реализации библиотеки вычисления признаков и позволяющий упростить выбор признаков для пользователя. В соответствии с выбранным принципом

классификации, библиотека вычисления признаков позволяет вычислять статистические, спектральные, алгебраические/структурные, логические, арифметические, матричные и топологические/геометрические признаки.

Сценарий работы с библиотекой включает следующие шаги:

1. Открытие файла с исходным изображением.
2. Открытие файла с маской.
3. Выбор алгоритма вычисления признака.
4. Запуск алгоритма вычисления признака на выполнение.

Рис. 5 иллюстрирует выбор параметров для запуска алгоритма вычисления гистограммы яркости.

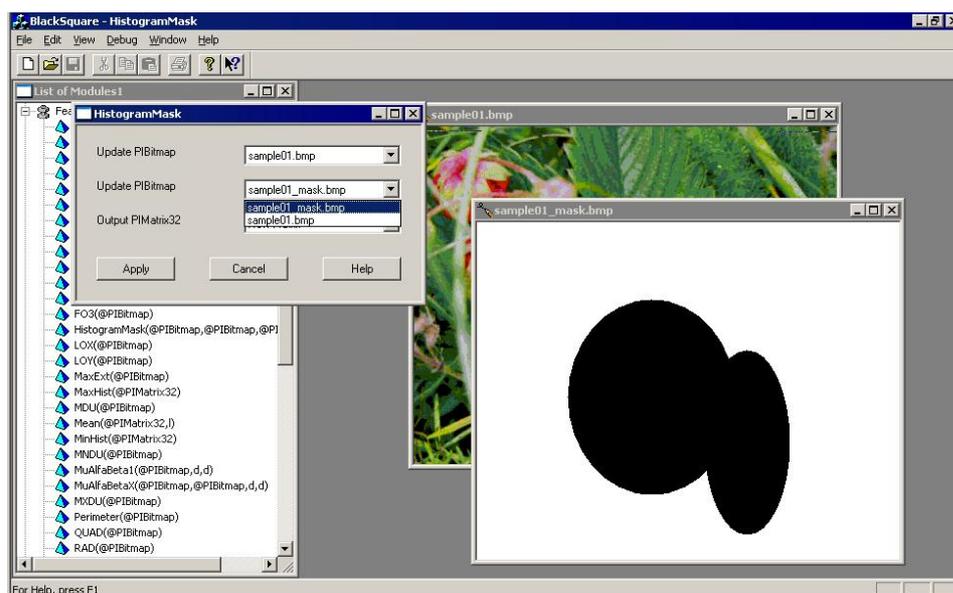


Рис. 5. Выбор параметров для запуска алгоритма вычисления гистограммы яркости.

Система «Черный квадрат» предоставляет возможности комплексирования алгоритмов с помощью редактора макрокоманд. Редактор макрокоманд с возможностью внешнего запуска – это текстовый редактор с возможностью проверки правильности синтаксиса макрокоманды, создания исполняемой макрокоманды и запуска корректной макрокоманды. Для разработки макрокоманд используется сужение языка “Си”. «Черный квадрат» позволяет использовать алгоритмы системы и стандартные функции “Си”. Макрокоманды после отладки легко могут быть преобразованы в динамические библиотеки для повышения их вычислительной производительности. Использование макрокоманд позволяет комплексировать алгоритмы вычисления признаков, а также создавать вектора признаков для описания изображений, каждому элементу вектора соответствует алгоритм вычисления признака. Таким образом, при работе макрокоманды для каждого изображения будет создан n-мерный вектор признаков, описывающий его.

В качестве иллюстрации применения предложенного метода выбора преобразований изображения рассмотрена задача диагностического анализа опухолей системы крови (гемобластозов) и исследования закономерностей опухолевой прогрессии. Сформулирована задача анализа изображений цитологических препаратов и их классификации по трем диагнозам: В-клеточный хронический лимфолейкоз (ХЛЛ), саркомная трансформация В-клеточного хронического лимфолейкоза (ТХЛЛ) и первичная В-клеточная лимфосаркома (ЛС). Основной особенностью задачи является то, что различным диагнозам соответствуют различные информативные признаки и, следовательно, изображениям из различных классов эквивалентности, заданных условиями задачи, соответствуют различные признаковые модели изображений. Таблица 1 иллюстрирует признаки, несущие высокую нагрузку в факторах 1-2 для различных диагнозов, выделенные из множества всех 47 признаков.

Таблица 1. Признаки, несущие высокую нагрузку в факторах 1-2 для различных диагнозов.

	ХЛЛ	ТХЛЛ	ЛС
Фактор 1	F2	F22 – F29, F42, F45	F22 – F26, F29, F42, F45
Фактор 2	F23, F25, F29	F1, F15, F16	

Традиционные методы распознавания предполагают, что каждый объект описан одинаковым набором признаков (с возможными пропусками), в то же время предложенный в главе 3 метод выбора преобразований изображения в задачах распознавания изображений позволяет оперировать классами изображений, имеющими разное описание. В поставленной задаче диагностического анализа изображениям из различных классов соответствуют различные векторы признаков:

$$\begin{aligned} \{I_1\}: & \{ F2, F23, F25, F29 \}, \\ \{I_2\}: & \{ F22 – F29, F42, F45 \}, \\ \{I_3\}: & \{ F22 – F26, F29, F42, F45 \}. \end{aligned}$$

Рассмотрено по шагам применение метода выбора преобразования изображений в задачах распознавания изображений для решения поставленной задачи диагностического анализа изображений цитологических препаратов, в качестве алгоритма решения задачи выбраны алгоритмы вычисления оценок (АВО).

Следует отметить, что поскольку точность распознавания для различных классов различается, то существенным моментом в применении метода становится последовательность выдвижения гипотез. Общее правило, применяемое и в данном случае, таково: первой следует выдвигать гипотезу о принадлежности к тому классу, который содержит максимальное число объектов, и далее по убыванию количества объектов. Таким образом, можно снизить объем вычислений и повысить точность распознавания.

Для диагноза ХЛЛ в первом факторе с высокой нагрузкой выделен только один признак (F2), таким образом, при использовании АВО невозможно сформировать опорные множества. Принимая во внимание тот факт, что первый фактор объясняет только 21,1% выборки, было решено добавить в рассмотрение признаки, обладающие высокой нагрузкой во втором факторе (второй фактор для диагноза ХЛЛ объясняет 17,17% признаков), а именно, признаки F23, F25 и F29, и проводить тестирование на расширенной выборке. Остальные диагнозы характеризовались признаками первого фактора.

Предложенный метод апробирован на нескольких наборах признаков, выбранных для описания изображений цитологических препаратов, показано, что применение предложенного метода позволяет увеличить точность распознавания с 83,18 % (при использовании 14 признаков, выделенных факторным анализом) до 93,37 %. Таблица 2 иллюстрирует точность распознавания для каждого из диагнозов.

Таблица 2. Оценка точности распознавания предложенного метода.

Диагноз	Число правильно распознанных клеток	Общее число клеток	Точность распознавания
ЛС	740	820	90,24 %
ТХЛЛ	493	513	96,10 %
ХЛЛ	1177	1248	94,31 %
Итого	2410	2581	93,37 %

Данная работа выполнена на основе Дескриптивного подхода к анализу изображений, и ее результаты вносят вклад в развитие его методов и средств, предназначенных для приведения изображений к виду, удобному для распознавания.

### **Список основных публикаций по теме диссертации**

1. I.V. Koryabkina. Informational Specificity of an Image in Pattern Recognition Environment // Proceedings of the IASTED International Conference in cooperation with The Russian Academy of Sciences: Siberian Branch "Automation, Control and Information Technology", June 10-13, 2002, Novosibirsk, Russian Federation. - P.435-438.
2. И.Б. Гуревич, И.В. Корябкина. Метод классификации изображений на основе их информационных характеристик // Труды 6-ой Международной конференции "Распознавание образов и анализ изображений: новые информационные технологии", Великий Новгород, 21-26 октября, 2002: В 2-х т. - НовГУ им. Ярослава Мудрого, Великий Новгород, 2002. - Т.1. - С.172-176.

3. I. Gurevich, I. Koryabkina. How To Use Well-Known Feature Classifications For Feature Selection In Image Analysis Tasks // Proceedings of the 6th German-Russian Workshop "Pattern Recognition and Image Understanding" (OGRW-6-2003), Katun Village, Altai region, Russian Federation, August, 25-30, 2003. - Novosibirsk, 2003. - P. 92-95.
4. I.B. Gurevich, I.V. Koryabkina. Image Classification Method Based on Image Informational Characteristics // Pattern Recognition and Image Analysis: Advances in Mathematical Theory and Applications. - 2003. - Vol. 13, No.1. - P. 103-105.
5. I.B. Gurevich, I.V. Koryabkina. Comparative Analysis and Classification of Features for Image Models // Pattern Recognition and Image Analysis: Advances in Mathematical Theory and Applications. - 2006. - Vol. 16, No.3. - P. 265-297.
6. I.B. Gurevich, I.V. Koryabkina, D.M. Murashov. Yu.O. Trusova, and A.V. Khilkov. An Open General-Purpose Research System for Automating the Development and Application of Information Technologies in the Area of Image Processing, Analysis, and Evaluation // Pattern Recognition and Image Analysis: Advances in Mathematical Theory and Applications. 2006, Vol.16, No.4, pp. 530–563.
7. Irina Koryabkina. Method for Image Informational Properties Exploitation in Pattern Recognition // Proceedings of The 13<sup>th</sup> Scandinavian Conference on Image Analysis (SCIA2003), 29 June 2003 – 2 July 2003 /J.Bigun and T. Gustavsson (Eds.): SCIA 2003, LNCS 2749. - P.1006-1013.
8. S. Di Bona, I. Gurevich, I. Koryabkina, A. Nefyodov, O. Salvetti. Integration of two approaches to medical image analysis for diagnostic purposes // Proceedings of the 7th International conference "Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies" (PRIA-7-2004), St. Petersburg, Russian Federation, October 18-23, 2004.- SPbETU, 2004. - Vol. II. - P.658-661.
9. S. Ablameyko, S. Di Bona, I. Gurevich, I. Koryabkina, D. Murashov, A. Nefyodov, O. Salvetti, A. Trykova, I. Vorobjev. Towards automated analysis of cytological and histological specimen images // Proceedings of the International Conference on Advanced Information and Telemedicine Technologies for Health (AITTH2005), November 8-10, 2005, Minsk, Belarus. – P.27-31.
10. S. Di Bona, I. B. Gurevich, I. V. Koryabkina, A. V. Nefyodov, and O. Salvetti. Two Approaches to Medical Image Analysis: Comparison and Synthesis // Pattern Recognition and Image Analysis: Advances in Mathematical Theory and Applications. - MAIK "Nauka/Interperiodica", 2005. - Vol. 15, No.2. - P. 539-542.