

Учреждение образования  
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

УДК 681.327

АЛЬКОФФАШ Махмуд Салем

**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ АНАЛИЗА ДИНАМИКИ  
ИЗОБРАЖЕНИЙ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ**

Специальность 05.13.15 «Вычислительные машины и системы»

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Минск 2004

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (БГУИР)

Научный руководитель            к.т.н., доцент Татур М. М.  
(БГУИР, кафедра ЭВМ)

Официальные оппоненты:    д.т.н., проф. Голенков В.В.  
( БГУИР, кафедра Интеллектуальных  
информационных технологий)  
к.т.н., с.н.с. Телятников Р.В.  
(ООО «Регула»)

Оппонирующая организация: Научно инженерное республиканское  
унитарное предприятие «Геоинформационные системы» НАН Беларуси

Библиотека БГУИР

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

*Актуальность темы диссертации.* Анализ и идентификация динамических сцен по данным дистанционного зондирования необходимы в системах автоматического наблюдения за появлением и исчезновением объектов, в системах оперативного контроля за состоянием объектов, в системах наведения за движущимися объектами, в системах автоматической стабилизации и ориентации видео и фото камер.

Проблему автоматической обработки изображений определяют такие факторы, как изменение положения снимающей камеры (дальность, угол съемки), а также условия съемки (освещенность, облачность, время года и т.п.). В таком виде, задача анализа сцен по данным дистанционного зондирования является нетривиальной и решается в интерактивном режиме с участием оператора, например для определения ориентиров, выставления параметров обработки и т.п. Однако в ряде прикладных задач требуется полностью автоматизировать процесс обработки, тогда необходимо разрабатывать и применять новые технологии обработки с более высокими возможностями в области автоматизации и оперативности управления. В диссертации в качестве альтернативного исследуется векторный подход к анализу сцен.

Известные результаты в области векторного анализа двумерных сцен, в большинстве случаев, представлены различными методами кодирования контуров и сравнения форм отдельных объектов, но при этом теоретическая база, необходимая для создания автоматических систем анализа сцен остается неполной. Не формализованы модели динамических двумерных сцен, не установлена связь между моделями и этапами решения задач, нет апробированных методик и алгоритмов, пригодных для комплексного решения задач анализа сцен по данным дистанционного зондирования. В этой связи, диссертационная работа, направленная на исследование фундаментальных аспектов (разработку моделей) и прикладных аспектов (разработку комплекса методик и алгоритмов для завершеного решения задач анализа сцен по данным дистанционного зондирования) является актуальной.

*Связь работы с крупными научными программами, темами.* Диссертационная работа выполнена на кафедре ЭВМ Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники в 2001-2004 г.г. в рамках следующих научно-исследовательских работ: «Методы, алгоритмы обработки полутоновых изображений и распознавания объектов на снимках Земной поверхности», № госрегистрации 20011637, по заказу Министерства Образования (2001-2003г.г.); «Разработка алгоритмов и программного обеспечения для отождествления объектов по данным дистанционного зондирования», № госрегистрации 20022305, по заказу

Объединенного института проблем информатики и радиоэлектроники НАН Беларуси в рамках союзной программы «Космос» (2002г.).

**Цель и задачи исследования.** Целью диссертационной работы является разработка моделей, методики и комплекса алгоритмов анализа двумерных динамических сцен на снимках Земной поверхности. Достижение поставленной цели потребовало решения следующих задач.

1. Разработать формальные модели динамических сцен и методику оценки функциональных возможностей систем анализа двумерных сцен.
2. Разработать общую методику анализа двумерных динамических сцен, частные методики и алгоритмы основных процедур (декомпозиции сцены на формальные объекты, векторного описания формальных объектов, взаимного ориентирования объектов в сцене, идентификации сцен).
3. Реализовать полученные результаты в исследовательской системе идентификации объектов на снимках Земной поверхности, с помощью которой оценить устойчивость предложенной технологии анализа сцен при различных уровнях деформаций изображений.

**Объект и предмет исследования.** Объектом исследования являются полутоновые снимки Земной поверхности, полученные в результате дистанционного зондирования. Предметом исследования являются методы и алгоритмы обработки динамических двумерных сцен.

**Гипотеза.** Предполагается, что анализ сцен в условиях деформаций изображений можно проводить без этапа растрового восстановления, за счет введения пороговых допусков по векторным информативным признакам. Это должно вести к сокращению объемов обрабатываемых данных и повышению оперативности принятия решений.

**Методология и методы проведенного исследования.** Теоретическая часть исследования основывалась на методах цифровой обработки изображений, распознавания образов, дискретных преобразований и системного анализа. Экспериментальная часть выполнялась с использованием имитационного моделирования на ЭВМ, с последующей численной и визуальной оценкой результатов. Программная реализация алгоритмов имитационных моделей выполнялась с использованием языков высокого уровня и специализированных пакетов обработки изображений и распознавания образов.

**Научная новизна и значимость полученных результатов.**

Получила дальнейшее развитие теория анализа динамических сцен. Предложены формальные графические модели, отличающиеся тем, что выделяют элементарные составляющие сцен и динамик, и следовательно, могут быть применены к широкому классу задач анализа двумерных динамических сцен. С использованием данных моделей разработаны

методика анализа сцен и тестовая база изображений для оценки интеллектуальных возможностей различных систем распознавания и анализа дискретных сцен.

Разработана оригинальная общая методика анализа двумерных динамических сцен по данным дистанционного зондирования, отличающаяся тем, что этап восстановления изображений по интерактивно выбранным точкам привязки заменен на векторное описание сцен, с заданием системы порогов допусков по каждому информативному признаку.

Предложены алгоритмы декомпозиции дискретной сцены на формальные объекты, отличающиеся тем, что на первом шаге разбора выполняется выделение и векторизация протяженных объектов, а на втором шаге - альтернативные стратегии разбора площадных объектов "UP" и "DOWN".

Получила дальнейшее развитие частная методика и разработаны алгоритмы реализации векторного описания объектов. Новизна заключается в предложенной совокупности алгоритмов, реализующих операции выделения центра масс, контурного описания, масштабирования, аппроксимации и интерполяции, в целом позволяющих получать векторное описание произвольных по форме объектов, в виде, компактном и удобном для манипулирования критериями принятия решений при идентификации объектов.

Получила дальнейшее развитие методика и разработаны алгоритмы реализации взаимного ориентирования объектов в сцене. Новизна заключается в использовании однотипного математического аппарата, как для процедуры векторного описания отдельного объекта, так и для методики ориентирования объектов в сцене. В частности, привязка объектов сцены осуществляется по результатам независимой идентификации отдельного объекта-ориентира, в котором проводится ось ориентирования от его центра масс к глобальному экстремуму контурного описания.

***Практическая значимость полученных результатов.*** Разработан комплекс алгоритмов идентификации объектов, что доказало возможность создания полностью автоматических систем экспресс-анализа динамических сцен. Разработанные алгоритмы могут быть использованы в системах автоматической навигации летательных аппаратов и в системах автоматического мониторинга за динамическими объектами по данным дистанционного зондирования. Результаты диссертационной работы в виде экспериментального программного модуля обработки аэрокосмических снимков Земной поверхности, обладающего следующими функциональными возможностями: прием и предварительная обработка полутоновых изображений Земной поверхности в bpr-формате; формирование сцен в интерактивном режиме; векторизация изображения и выделение информативных признаков объектов; восстановление растрового изображения из векторного описания; расчет контекстных данных для идентификации объектов в сцене; гибкое управление параметрами информативных признаков; выделение и отождествление объектов с

заданными параметрами информативных признаков внедрены в НИР Объединенного института проблем информатики НАН Беларуси.

Также, результаты диссертационной работы были внедрены в учебный процесс Учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» при чтении курсов «Автоматизация проектирования ЭВМ» и «Цифровая обработка сигналов и изображений».

***Основные положения диссертации, выносимые на защиту.***

1. Графические модели дискретных динамических сцен, позволившие формализовать постановку задач анализа, ранжировать задачи, в зависимости от сложности решения, и впервые создать тестовые базы изображений и соответствующую методику для формальной оценки «интеллектуальных» возможностей автоматических систем анализа и идентификации динамических сцен.

2. Общая методика анализа двумерных динамических сцен по данным дистанционного зондирования, которая объединяет все этапы обработки в комплексе, от приема полутонового изображения, до принятия решения о степени динамик отдельных идентифицированных объектов. Методика повышает уровень формализации процесса привязки объектов к ориентиру и, следовательно, уровень автоматизации систем экспресс анализа сцен, построенных на ее основе; позволяет гибко управлять критериями принятия решений в условиях автоматической идентификации.

2.1. Частная методика и алгоритмы реализации декомпозиции дискретной сцены на формальные объекты, позволяющие сократить число обрабатываемых элементов, повысить адекватность принимаемых решений и упростить процесс формализации этапов синтеза и анализа дискретных сцен.

2.2. Частная методика и алгоритмы реализации векторного описания объектов, позволяющие минимизировать объемы векторных данных для хранения информации о форме двумерного объекта, при сохранении функции восстановления исходного изображения, а также удобно реализовать функции масштабирования, поворота и многокритериального сравнения форм.

2.3. Частная методика и алгоритмы реализации взаимного ориентирования объектов в сцене, позволяющие формализовать привязку всех объектов сцены по единственному объекту ориентиру, оценивать азимутальную ориентацию объектов относительно условной оси ориентирования, и тем самым упростить алгоритмическую и программную реализацию процедуры анализа сцен.

**Личный вклад соискателя.** Все выносимые на защиту модели, методики и алгоритмы были разработаны и исследованы лично автором. В работах с соавторами выполнен комплекс программных средств для отождествления снимков Земной поверхности по данным дистанционного зондирования. Научный руководитель принимал участие в постановке цели и задач исследования, планировании экспериментов, а также в обсуждении полученных результатов.

**Апробация результатов диссертации.** Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на научно-технических конференциях аспирантов, магистрантов и студентов Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники (Минск, 2002, 2003, 2004), Международной научно-технической конференции «Информационные системы и технологии» (Минск, 2002), 4-й и 5-й Международных школах-семинарах аспирантов и студентов «Современные информационные технологии» (Браслав, 2002, 2003), International Conference “Pattern Recognition and Information Processing” (Minsk, 2003), 3-d International Conference on Neural Networks and Artificial Intelligence (Minsk, 2003), 6-й Всероссийской научно-технической конференции «Нейроинформатика-2004» (Москва, 2004).

**Опубликованность результатов.** По теме диссертационной работы опубликовано 8 печатных работ. Из них: 4 статьи в научных журналах, 4 тезиса докладов в сборниках международных научно-технических конференций. Прикладные результаты отражены в 2 отчетах о НИР БГУИР по указанным выше темам.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация изложена на 116 страницах. Она состоит из введения (4стр.), общей характеристики работы (5 стр.), четырех глав (91 стр.), выводов (2 стр.). Работа содержит 47 иллюстраций (12 стр.) и 3 таблиц (1 стр.), список использованных источников, состоящий из 145 наименований (10 стр.), приложение с документами о внедрении результатов диссертационной работы (4стр.).

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Во **введении** дана краткая оценка состояния проблемы обработки динамических изображений и распознавания сцен, сформулированы исходные положения диссертационной работы и показана необходимость в проведении данного исследования.

В **первой** главе выполнен обзор литературных источников, на основании чего проведен критический анализ состояния в исследуемой области. Вводятся исходные допущения, определяются основные понятия и

показано место результатов, полученных автором, в сложившейся системе знаний и представлений в данной научной области.

В диссертационной работе исследуется векторный подход к анализу и идентификации двумерных сцен применительно к снимкам Земной поверхности. Характерное отличие постановки задачи состоит в проведении экспресс обработки, необходимой при оперативном управлении, мониторинге при автоматической навигации по данным дистанционного зондирования. Следствием реализации должна явиться не полная дешифрация снимка, а только в той ее части, которая необходима для принятия решения; информативные признаки будут выделяться не на растровом, а на векторном уровне обработки; точки привязки сцен, (объекты ориентир) будут выбираться автоматически.

Во второй главе выполнена формализация постановки задач анализа дискретных динамических сцен и намечены основные подходы к ее решению. Диссертационное исследование начинается с развития элементов общей теории анализа и распознавания сцен. Предложена оригинальная система моделей дискретных сцен и элементарных динамик.

Графические модели дискретных сцен предложено различать по признакам, условно названным «По глубине» и «По широте». Сочетание этих признаков дает четыре класса двумерных сцен: в одном уровне, в одном кадре; в одном уровне, в нескольких кадрах; в нескольких уровнях, в одном кадре; в нескольких уровнях, в нескольких кадрах. Последний тип сцен наиболее сложен для распознавания и присущ задачам автоматической навигации по данным дистанционного зондирования земной поверхности.

В моделях динамик дискретных сцен предложено выделять элементарные динамики двух родов. К первому роду отнесены динамики, связанные с изменением характеристик объекта (при этом точка выполнения съемки фиксирована). Например, появление либо исчезновение одного/нескольких объектов; изменение площади, периметра, формы одного/нескольких объектов; изменение положения (азимута, расстояния) одного/нескольких объектов, относительно некоторого ориентира), изменение угла поворота вокруг собственного центра масс; изменение уровня яркости либо текстурных характеристик одного/нескольких объектов. Ко второму роду отнесены динамики, обусловленные изменением расстояния, направления и угла места съемки сцены. В качестве элементарных динамик второго рода выделены: изменение масштаба сцены; смещение сцены в кадре; разворот всей сцены относительно точки съемки; нелинейные деформации сцены.

В общем случае на изображениях будут присутствовать динамики нескольких видов, т.е. новая сцена будет представлена как предыдущая с композицией элементарных динамик. В диссертационной работе разрабатывается методико-алгоритмический аппарат для решения задачи анализа сцен в следующей постановке: *«Идентифицировать сцены на двух изображениях и выявить динамики первого рода на фоне динамик второго рода».*



Разработана оригинальная *методика и база тестовых изображений* для тестирования функциональных возможностей и оценки систем распознавания дискретных динамических сцен. Идея состоит в том, что задача распознавания двумерных дискретных сцен формулируется на различных «интеллектуальных» уровнях, качественно характеризующих сложность решения. База тестовых изображений представляет собой серию (в диссертации приведено одиннадцать) изображений дискретных сцен, названных: «Фигуры 1-5», «Жуки1-4», «Бабочки», «Снимки дистанционного зондирования». Каждому тесту соответствует формальное задание, дифференцирующие сложность идентификации сцен, с определенным числом баллов. Методика тестирования заключается в последовательном решении задач распознавания изображений. В результате формального испытания тестируемая система набирает определенную сумму баллов, которая в конечном итоге, характеризует ее «интеллектуальные» возможности по распознаванию двумерных дискретных сцен.

Тестовая база, по определению, считается открытой, количество тестовых серий в методике, число изображений (и их содержание), а также, число (и содержание) заданий в серии могут модифицироваться, развиваться, дополняться и тем самым повышать эффективность тестирования. Окончательные параметры тестовой базы должны рассматриваться и утверждаться квалифицированной экспертной комиссией. Размещаться подобная тестовая база должна на сайте авторитетной организации.

В **третьей** главе рассматривается методика и алгоритмы распознавания дискретных динамических сцен. Методика включает пять базовых процедур, среди которых:

- предварительная обработка полутоновых изображений;
- декомпозиция сцены на дискретные объекты;
- векторное описание формальных объектов;
- взаимное ориентирование объектов в сцене;
- идентификация сцен.

В диссертационном исследовании, для каждой процедуры дается обзор возможных вариантов реализации, проводится их анализ и обосновывается выбор технического решения, применительно к цели и задачам диссертационного исследования.

**Процедура предварительной обработки.** Данная процедура предназначена для выполнения функций фильтрации и сегментации полутоновых изображений. В результате фильтрации выполняется удаление шумов. В результате сегментации в полутоновом изображении выравнивается уровень яркости в участках раstra, ассоциируемых с объектом. В настоящее время широко используются такие методы сегментации, как «наращивание однородных областей», математическая морфология, гистограммный

анализ. В диссертационной работе использован известный алгоритм сегментации, основанный на объединении однородных областей.

**Процедура декомпозиции сцены на дискретные объекты.** Процедура предназначена для разделения сегментированного растра на отдельные участки для последующей их векторизации. Для реализации данной процедуры в диссертации разработана методика и алгоритмы разбора сцены на формальные объекты. Под формальными объектами понимаются одноуровневые фигуры, имеющие только внешний контур. Это условие в дальнейшем позволит упростить формализацию всей методики анализа сцен.

Методика декомпозиции дискретных сцен имеет следующий вид.

- На первом шаге выделяются протяженные объекты, векторизуются и «удаляются» со сцены. «Удаление» означает: векторное описание объекта; «восстановление» контуров объектов в тех участках растра, где располагался протяженный (удаляемый) объект; фоновую «заливку» участков растра, принадлежавшего протяженному объекту. Для выделения протяженных объектов был использован известный алгоритм эрозии из аппарата математической морфологии.

- На втором шаге осуществляется разбор сцены, состоящей из площадных объектов, с использованием альтернативных стратегий: нисходящей (от фона к одноуровневым объектам) - "DOWN", и обратной ей, восходящей - "UP". Эти стратегии формализованы и исследованы на тестовых изображениях с различными размерами растра, с различным числом дискретных объектов и с различным числом иерархических слоев. Определены предпочтительные области применения каждой из стратегий.

**Процедура векторного описания формальных объектов.** Процедура предназначена для вычисления вектора признаков для участка растра, выделенного на этапе декомпозиции. На данном этапе обработки выполняется следующий ряд операций: векторное описание контура, определение периметра и площади, вычисление различных относительных коэффициентов (масштабирования, площади к квадрату периметра и др.). Векторные данные могут быть использованы для идентификации объектов, а также для восстановления растрового изображения по векторному описанию.

Ключевой операцией векторизации объектов является контурное описание. Из анализа источников выявлен ряд методов, используемых для описания контуров. Эти методы были сравнены по следующим критериям: возможности описывать произвольные формы; возможности масштабирования и поворота; помехоустойчивости. На основании анализа сделан вывод, что наибольшими функциональными возможностями обладает метод, описанный П.Ван Оттерлоо. В разработанной методике данный метод использован в качестве математической основы совместно с методом цепного кодирования.

На вход процедуры векторизации поступает формальный объект представленный в виде участка растра. В общем виде алгоритм контурного описания включает следующие операции:

- выбор начального контурного пикселя и присвоения ему начального номера;
- выбора текущего (очередного) контурного пикселя и присвоения ему очередного номера;
- присвоение номеру контурного пикселя значение кода, в зависимости от положения предыдущего и текущего контурных пикселей (собственно реализация метода цепного кодирования);
- измерения площади и периметра формального объекта.

Кодирование формы объекта предлагается выполнять по следующему алгоритму.

1. Определение центра масс.
2. Описание формы объекта на основе метода Ван Оттерло. Форма двумерного объекта любой сложности может быть описана парой функций  $R = \varphi(P)$ ,  $Q = \psi(P)$ , где  $R$  – расстояние от центра масс до контура,  $Q$  – полярный угол. В качестве аргумента  $P$  выступает часть периметра от точки привязки до  $k$ -ой текущей точки (пикселя) контура.

$$P_k = n_{zk} + n_{ek} + n_{dk} \sqrt{2}$$

где  $n_{zk}$ ,  $n_{ek}$ ,  $n_{dk}$  - число горизонтальных, вертикальных и диагональных

$$R_k = \sqrt{x_k^2 + y_k^2}, \quad Q_k = \arctg x_k / y_k, \quad k = \overline{0, n}$$

где  $x_k$ ,  $y_k$  ортогональные координаты  $k$ -го пикселя цепного кода, относительно центра масс,  $n$  – число пикселей в контуре.

3. Масштабирование.

При вычислении *коэффициента масштабирования* периметр принимается за единицу, либо другую константу (например, 100 либо 1000). Этот коэффициент будет сохраняться в атрибутах описания объекта. С его помощью можно будет выполнить восстановление изображения в абсолютных величинах из нормализованного описания.

$$K_m = 1/P$$

Значения аргумента  $P$ , а также значения функции  $R$  переводятся в соответствии с масштабным коэффициентом –  $1/P$  (  $100/P$  либо  $1000/P$ ).

$$R_k^m = K_m R_k$$

$$P_k^m = K_m P_k$$

Таким образом аргумент  $P$  для случая ортогональной матрицы пикселей будет изменяться с дискретностью 1 либо  $\sqrt{2}$ .

4. Аппроксимация значений функций в  $n$  отсчетах аргумента  $n-1$  кусочно-линейными функциями.

Выполняется итеративно по точкам с координатами  $(x_k^n, y_k^n)$ ;  $(x_{k+1}^n, y_{k+1}^n)$ .

5. Интерполяция значений нормализованных функций  $R'' = \varphi(P)$ ,  $Q'' = \psi(P)$  в  $m$ -точках контура, определяющих необходимую точность отображения функций.

Экстремумы функций, а также относительные параметры одной функции к другой будут являться информативными признаками. Для установления критерия сравнительной оценки форм в простейшем случае может быть использован тривиальный порог. Предложенный аппарат позволяет:

- получать исчерпывающую информацию для распознавания объектов любой формы;
- обеспечить адаптивность к "незначительным" изменениям в объекте;
- гибко и просто выставлять критерии распознавания;
- реализовать функцию поворота объекта вокруг центра масс;
- реализовать функцию нормализации объектов и сцен.

**Процедура взаимного ориентирования объектов в сцене.** Данная процедура предназначена для установления метрических, угловых и других отношений между объектами в сцене. Методика взаимного ориентирования объектов в сцене состоит из следующих подэтапов, реализуемых соответствующими алгоритмами.

1. **Выбор объекта ориентира.** Объект-ориентир может выбираться автоматически либо указываться оператором. Выбор ориентиров будет проводиться по следующим критериям.

Объект должен четко выделяться на фоне других объектов (по яркости, площади, периметру). Это позволит его быстро выделить из множества других объектов.

Объект должен быть асимметричным, иметь характерные особенности контура. Это позволит выделить информационный признак (экстремум функции  $R=\varphi(P)$ , описывающей его форму).

Объект должен иметь относительно большую площадь или периметр. Это необходимо для того, чтобы опорные точки оси ориентирования были расположены по возможности дальше друг от друга, с целью сокращения погрешностей ориентирования.

Ориентир, как реальный объект, должен быть стационарным. Т.е. его характеристики: яркость, площадь, периметр, форма, угол поворота не должны выходить за рамки допустимого порога, присущего всей сцене в целом (очевидное условие).

2. **Построение оси ориентирования.** Целесообразно для построения оси ориентирования использовать уже разработанные алгоритмы, применяемые при реализации предыдущих процедур. Так, алгоритмы кодирования формы объекта, рассмотренные выше, с небольшими дополнениями могут быть использованы для построения оси ориентирования. Предлагается следующая методика.

- Выделить на контуре данного объекта точку, расположенную в глобальном экстремуме функции  $R=\varphi(P)$ .

- Провести мнимую ось через пару выбранных точек. Относительно этой оси будет осуществляться ориентирование всех остальных объектов сцены.

### 3. Построение скелета сцены.

В предлагаемой методике применен полярный способ взаимного ориентирования объектов. Привязка объектов сцены к ориентиру осуществляется как последовательное вычисление полярных координат между центрами масс:

- измерить азимуты, углы между направлением выбранной оси ориентира и направлением на центры масс соседних объектов, расположенных в заданной окрестности;
- измерить расстояния между центрами масс объекта ориентира и векторизованных соседних объектов;
- с использованием возможностей метода описания форм определить угол поворота каждого векторизованного объекта вокруг собственного центра масс относительно оси ориентира.

**Процедура идентификации сцен.** Методика поиска изменений в дискретных сценах основана на установлении допусков каждому из информативных признаков и определении критериев принятия решений о сравнении либо не сравнении. В диссертации применяются традиционные подходы к выставлению критериев подобия объектов и многокритериальному поиску.

В качестве информативных признаков могут выступать *абсолютные* либо *относительные* показатели. Абсолютными показателями являются площадь объекта, периметр, азимутальные углы, расстояния между центрами масс. Относительными показателями являются: коэффициенты, связывающие абсолютные показатели. Например, коэффициент,

$$K^{OKP} = 4\pi S / P^2$$

где  $S$  – площадь,  $P$  - периметр объекта.

При  $K^{OKP} \rightarrow 1$ , форма объекта по степени подобия стремится к окружности, и напротив, при  $K^{OKP} \rightarrow 0$ , форма объекта все более отлична от окружности. Также, относительными являются любые показатели, полученные после этапа нормализации контура объекта.

**Итоговая процедура анализа сцен** может быть сведена к последовательности следующих действий.

*Первый этап - ориентирование.*

1. Задать систему порогов для всех информативных признаков для всех объектов, установить критерии идентификации.
2. На каждом изображении и найти и идентифицировать объект - ориентир.
3. Вычислить коэффициенты масштабирования по площади и периметру.

4. Найти на контуре объекта-ориентира характерную точку (экстремум функции  $R=\varphi(P)$ ). Провести ось ориентирования через центр масс и выбранную точку контура.

*Второй этап - идентификация отдельных объектов.*

Для каждого объекта сцены выполнить автономную идентификацию по совокупности информационных признаков: яркости, относительной площади, относительному периметру, форме. Сравнение форм двумерных объектов осуществляется по следующей методике.

1. Установить критерий сравнения форм как функций  $R=\varphi(P)$ . Критерий определяет вид информативного признака (совокупности информативных признаков) и соответствующие пороги к ним.
2. Выполнять итеративный поворот объекта вокруг центра масс (Сдвиг графика функции  $R=\varphi(P)$  вдоль оси  $P$ ).
3. Выполнить сравнение функций  $R=\varphi(P)$  двух объектов на каждой итерации до получения экстремума по заданному критерию.

*Третий этап – анализ взаимного расположения объектов в сцене.*

1. Для каждого идентифицированного объекта сцены вычислить полярные координаты азимута и расстояния, а также угол поворота объекта вокруг собственного центра масс.
2. Для каждого объекта на двух изображениях сопоставить: относительные масштабные коэффициенты, азимуты и углы поворота.
3. С использованием возможностей метода векторного описания контуров по объектам-ориентирам рассчитать угол поворота всей сцены относительно направления на «Север».

В четвертой главе представлена экспериментальная система распознавания динамических сцен и результаты ее тестирования. Функциональные возможности автоматизированной обработки изображений включают реализацию процедур, методики и алгоритмы которых разработаны в диссертации и описаны в главе 3. Эксперимент проводился на серии пар полутоновых снимков Земной поверхности одного и того же участка, в условиях динамик второго рода (масштабирование, поворот, нелинейные деформации). Задача состояла в автоматизированной обработке снимков и отождествлении одноименных объектов. При этом необходимо было выявить динамики первого рода при заданных ограничениях на допустимые отклонения относительных метрических характеристик объектов.

На рисунке приведен фрагмент результатов экспериментов, где «а, б» – исходная пара снимков в условиях динамик второго родов. Стрелками отмечены динамики первого рода – изменение русла реки и пропадание пруда. На рис. «в, г, д» приведена последовательность формальных объектов, получаемая в результате декомпозиции сцены. Причем на рис. «д» показаны два изображения двух одноименных объектов «река», на которых отмечена динамика первого рода – изменение русла. На рис. «е» показано, как эта динамика проявляется в векторном описании данного объекта.



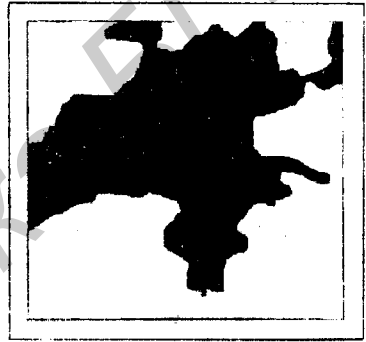
а



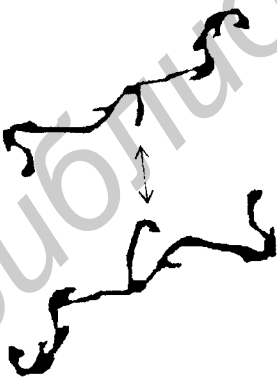
б



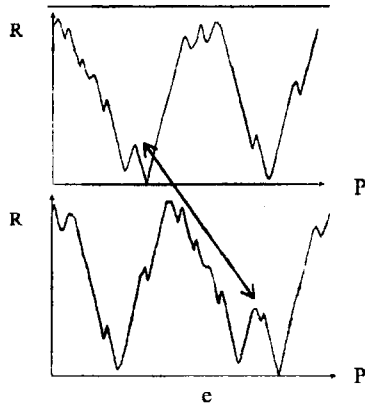
в



г



д



Экспериментальные результаты обработки снимков Земной поверхности.

Полутоновые изображения вводились в виде матриц пикселей с диапазоном яркости 256 уровней. Размеры изображения определялись техническими возможностями компьютера. В качестве тестовых примеров использовались изображения размером 1024x768. Уровень порога по нелинейным деформациям был установлен 10%. Результаты испытаний подтвердили работоспособность разработанных методик и опытным путем определен порог к деформациям сцен, ниже которого алгоритмы идентификации работают устойчиво. Увеличение допустимых порогов по ключевым информативным признакам выше 15-20% приводило к ошибкам в идентификации, как отдельных объектов, так и дешифрации сцен в целом. Это объясняется, тем, что графики функций векторного описания объектов искажаются до такой степени, когда тривиальными методами невозможно выделить и правильно отождествить глобальные максимумы и минимумы, следовательно, возникали проблемы с нахождением точек привязки для идентификации как форм отдельных объектов, так и ориентирования объектов в сцене.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- 1) Разработаны формальные модели дискретных динамических сцен, дифференцирующие сцены и соответственно прикладные задачи по следующим признакам: по глубине (числу уровней объектов в сцене), по широте (соотношению размеров сцены и кадра) и элементарным динамикам. На основе предложенных моделей сцен разработана тестовая база и соответствующая формальная методика для количественной оценки функциональных возможностей систем анализа и идентификации двумерных сцен. Методика представляет собой последовательность из одиннадцати формальных заданий, с графическими тестовыми данными. Оригинальность методики состоит в том, что задания ранжированы по степени сложности и тестируют отдельные факторы, влияющие на сложность задач анализа сцен [4,7,8].
- 2) Разработана оригинальная общая методика анализа двумерных динамических сцен, отличающаяся реализацией векторного описания сцен с заданием системы пороговых допусков по каждому информативному признаку. Данная методика включает все этапы обработки в комплексе, от приема полутонового изображения, до принятия решения о степени динамик отдельных идентифицированных объектов. Методика обеспечивает: формализацию процесса привязки объектов к ориентиру и повышение уровня автоматизации систем экспресс анализа сцен, построенных на ее основе; гибкое манипулирование критерием «точность/время обработки» при создании систем автоматической идентификации. Общая методика раскрывается как совокупность частных методик и алгоритмов реализации.

Разработана методика и алгоритмы реализации декомпозиции дискретной сцены на формальные объекты, где в качестве первоочередного



шага разбора применен алгоритм выделения и векторизации протяженных объектов, а для разбора площадных объектов предлагается использовать альтернативные стратегии разбора: "UP" и "DOWN".

Разработана методика и алгоритмы реализации векторного описания объектов, позволяющие минимизировать объемы векторных данных для хранения информации о форме двумерного объекта, при сохранении функций восстановления исходного изображения, а также реализовать функции масштабирования, поворота и многокритериального сравнения форм.

Разработана методика и алгоритмы реализации взаимного ориентирования объектов в сцене, позволяющие формализовать привязку всех объектов сцены по единственному объекту ориентира, оценивать азимутальную ориентацию объектов относительно условной оси ориентирования, и тем самым упростить алгоритмическую и программную реализацию процедуры анализа сцен.

Разработана методика и алгоритмы реализации многокритериального анализа сцен, включающую как этап «грубого» сравнения по скалярным информативным признакам и так и «точного» сравнение форм по функциям векторных описаний контуров [1-5].

3) Разработанные методики формализованы и реализованы в системе имитационного моделирования. Эксперименты по идентификации проводились на полутоновых снимках Земной поверхности, в результате чего продемонстрирована работоспособность предложенных методик и опытным путем определен уровень допустимых деформаций сцен, при котором сохраняется устойчивость работы системы [6].

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Статьи в научных журналах

1. Алькоффаш М.С., Татур М.М. Алгоритм кодирования форм двумерных объектов//Известия Белорусской инженерной академии. – 2002.-№ 1(13)/2.- С.131-133.
2. Алькоффаш М.С., Татур М.М. Методология распознавания двумерных динамических сцен //Известия Белорусской инженерной академии. – 2003. - № 1(15)/1.- С.71-73.
3. Алькоффаш М.С., Татур М.М. Методика кодирования двумерной сцены дискретных объектов // Доклады БГУИР.- 2003.-№ 4.-С.86-87.
4. Алькоффаш М.С., Татур М.М. Методология классификации и измерения динамик сегментированных изображений // Весті НАН Беларусі , сер.фіз.тэх. навук . - 2004.-№ 1. –С.87-93.

### Статьи в сборниках трудов международной конференции

5. Алькоффаш М.С., Байрак С.А., Кравцов А.А., Себешук А.Л. , Садыхов Р.Х.,Татур М.М. Алгоритм идентификации двумерных объектов в динамических сценах // Информационные системы и технологии. Тез. докл. I МНТК.-Минск -2002. – Ч.2., С.188-191.
6. Alkoffash M., Bairak S., Hardzeyeu V., Pachynin D., Tatur M. System of the multicriterional identification of the trade mark images // Pattern Recognition and Information Processing. Proc. Int. Conf. –Minsk.- 2003.- V.1., p. 114-117.
7. Alkoffash M., Tatur M. Methodology of Classification and Measurement of Quantitative and Qualitative Changes in the Dynamical Segmented Images// 3-d Int.Conf. on Neural Networks and Artificial Intelligence.- Minsk.- 2003.- P.53-55.
8. Алькоффаш М.С., Татур М.М. Проблемы тестирования «интеллектуальных» возможностей систем идентификации двумерных сцен // Тез. докл. 6-й Всероссийской научно-технической конференции «Нейроинформатика-2004». – Москва.- 2004.- Ч.1., С.225.



## РЕЗЮМЕ

Алькоффаш Махмуд Салем

### **Модели и алгоритмы анализа динамики изображений дистанционного зондирования**

**Ключевые слова:** Полутоновое изображение, двумерная сцена, дискретные формальные объекты, элементарные динамики, идентификация, векторное описание, контур, ориентир, азимут.

Диссертационная работа посвящена решению задачи автоматизации обработки полутоновых изображений по данным дистанционного зондирования. Целью исследования являлась разработка моделей, методики и комплекса алгоритмов анализа двумерных динамических сцен на снимках Земной поверхности.

Предложены формальные модели дискретных динамических сцен, на основе которых разработаны тестовая база и методика для оценки интеллектуальных возможностей различных систем распознавания и анализа дискретных сцен. На основе предложенных моделей построена общая методика анализа двумерных динамических сцен по данным дистанционного зондирования, отличающаяся тем, что из технологической цепочки исключен этап восстановления растрового изображений по интерактивно выбранным точкам привязки. В ходе реализации общей методики в процедурах автоматизированной обработки были разработаны частные методики и алгоритмы реализации процедур, связанные с отдельными этапами обработки изображений. Так, разработана частная методика декомпозиции дискретной сцены на формальные объекты, отличающаяся использованием альтернативных стратегии разбора: "UP" и "DOWN". Разработана частная методика векторного описания объектов, новизна которой заключается в совокупности алгоритмов, реализующих функции масштабирования, аппроксимации и интерполяции, в целом позволяющих получать векторное описание в виде, компактном и удобном для манипулирования формами объектов (масштабированием, поворотом, сравнением). Разработана методика взаимного ориентирования объектов в сцене, главное отличие которой состоит в использовании однотипного математического аппарата, как для векторного описания отдельного объекта, так и для ориентирования объектов в сцене. Результаты теоретических исследований реализованы в виде экспериментального программного модуля обработки аэрокосмических снимков Земной поверхности. Результаты испытаний подтвердили работоспособность разработанных методик и опытным путем определен порог динамикам второго рода, ниже которого алгоритмы идентификация сцен работают устойчиво.

**РЭЗЮМЭ**  
дысертацыйнай працы Алькаффаша Махмуда Салема

**Мадэлі і алгарытмы аналізу дынамік відарысаў дыстанцыйнага  
зандавання**

*Ключавыя словы:* Паўтановы відарыс, двухмерная сцэна, дыскрэтны фармальны аб'ект, элементарныя дынамікі, ідэнтыфікацыя, вектарнае апісанне, контур, арыентыр, азімут.

Дысертацыйная праца прысвечана вырашэнню задачы аўтаматызацыі апрацоўкі паўтановых відарысаў па дадзеным дыстанцыйнага зандавання. Мэтай даследавання з'явілася распрацоўка мадэляў, методык і комплексы алгарытмаў аналізу двухмерных дынамічных сцэнаў на здымках Зямной паверхні.

Прапанаваны фармальныя мадэлі дыскрэтных дынамічных сцэнаў, на выснове якіх распрацаваны тэставая база і методыка да ацэнкі інтэлектуальных магчымасцяў розных сістэм распазнавання і аналізу дыскрэтных сцэнаў. На выснове мадэляў пабудавана агульная методыка аналізу двухмерных дынамічных сцэнаў па дадзеным дыстанцыйнага зандавання, адрозніваючыся тым, што з тэхналагічнага ланцуга выключаны этап абнаўлення растравага відарысу па інтарактыўна абраным кропкам прывязкі. Пад час рэалізацыі агульнай методыкі ў працэдурах аўтаматызаванай апрацоўкі былі распрацаваны прыватныя методыкі і алгарытмы рэалізацыі, звязаныя з асобнымі этапамі апрацоўкі відарысаў. Так, распрацавана методыка дэкампазіцыі дыскрэтнай сцэны на фармальныя аб'екты, якая адрозніваецца выкарыстаннем альтэрнатыўных стратэгіяў разбору: «UP» і «DOWN». Распрацавана прыватная методыка вектарнага апісання аб'ектаў, навізна якой заключана ў суполцы алгарытмаў, рэалізуючых функцыі маштабавання, апраксімацыі і інтэрпаляцыі, увогуле дазваляючых атрымліваць вектарнае апісанне ў выглядзе, кампактным і зручным да маніпулявання формамі аб'ектаў (маштабаваннем, паверотам, сраўненнем). Распрацавана методыка узаімнага арыентавання аб'ектаў у сцэне, галоўнае адлічча якой існуе ў скарыстанні аднаголькавага матэматычнага апарату, як да вектарнага апісання асобнага аб'екту, так да арыентавання аб'ектаў у сцэне. Вынікі тэарэтычных даследаванняў рэалізаваны ў выглядзе эксперыментальнага праграмнага модулю апрацоўкі аэракасімічных здымкаў Зямной паверхні. Вынікі іспытанняў падцвердзілі працаздольнасць распрацаваных методык і опытным шляхам вызначаны парог дынамік другога роду, ніжэй за які алгарытмы ідэнтыфікацыі працуюць устойліва.

## SUMMARY

Alkoffash Mahmud Salem

Models and the algorithms of the analysis of the dynamics of the images of the remote sensing

**The keywords:** gray scale image, two-dimensional scene, the discrete formal objects, elementary of dynamics, identification, vector description, outline, orientated, azimuth.

The dissertation study is dedicated to the solutions of the problems of the automation of working gray scale images according to the data of remote sensing. The purpose of this study is the development of models, procedure and complex of the algorithms of the analysis of two-dimensional dynamic scenes in the photographs of the earth's surface. The proposed formal models of the discrete dynamic scenes can be applied to the broad class of the tasks of the analysis of scenes. These procedures for evaluating the intellectual possibilities of different systems of recognition and analysis of discrete scenes are developed on the basis of data of models. On the basis of these models, the general procedure of the analysis of two-dimensional dynamic scenes according to the data of remote sensing are built. This is characterized by the fact that, the stage of the restoration of the scanning of images on the interactively selected points of tying is excluded from the technological chain. In the course the realization of the general procedures of the automated working, the particular procedures were developed, connected with the separate development stages of images. Thus, particular procedures were developed for the decomposition of discrete scene to the formal objects, which is characterized by the use the alternative strategy of the selection: "UP" and "DOWN". The developed particular procedures, of the vector description of objects whose novelty consists in the totality of the algorithms, realizes the functions of scaling, approximation and interpolation, as a whole of those making it possible to obtain vector description in the form, compact and convenient for the manipulation with the forms of objects (by scaling, by turning, by comparison). The developed procedure of the mutual orientation of objects in the scene, whose main difference consists of the use of a uniform mathematical apparatus, both for the vector description of separate object and for the orientation of objects in the scene. The results of theoretical studies are, realized in the form of the experimental program module of processing the aerospace photographs of the earth's surface. The results of tests, confirms the fitness for work of the developed procedures and is experimentally determined threshold to the dynamic loudspeakers of the second kind, lower than which algorithms the identification of scenes work stably.

АЛЬКОФФАШ МАХМУД САЛЕМ

**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ АНАЛИЗА ДИНАМИКИ  
ИЗОБРАЖЕНИЙ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ**

Специальность 05.13.15 «Вычислительные машины и системы»

Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Подписано в печать 08.11.2004.	Формат 60 x 84 1/16.	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».	Печать ризографическая.	Усл. печ. л. 1,4.
Уч.-изд. л. 1,2.	Тираж 80 экз.	Заказ 664.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Лицензия на осуществление издательской деятельности №02330/0056964 от 01.04.2004.

Лицензия на осуществление полиграфической деятельности №02330/0133108 от 30.04.2004.

220013, Минск, П. Бровка, 6