

Учреждение образования  
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

УДК 004.932.1:528.8

**АЛЬЗАКИ**  
**Хайдер Макки Хамид**

**ТЕКСТУРНАЯ СЕГМЕНТАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ  
НА ОСНОВЕ КОНТУРНЫХ ОБРАЗУЮЩИХ**

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

по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка  
информации

Минск 2018

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Научный руководитель **Цветков Виктор Юрьевич**, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой инфокоммуникационных технологий учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Официальные оппоненты: **Старовойтов Валерий Васильевич**, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории обработки и распознавания изображений государственного научного учреждения «Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси»

**Лукашевич Марина Михайловна**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электронных вычислительных машин учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Оппонирующая организация Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем им. А. Н. Севченко» Белорусского государственного университета

Защита состоится «12» апреля 2018 г. в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.01 при учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6, корп. 1, ауд. 232, тел. 293-89-89, e-mail: dissovet@bsuir.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Автореферат разослан «\_\_» марта 2018 г.

Ученый секретарь совета по защите диссертаций, кандидат технических наук, доцент

М. П. Ревотюк

## **КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ**

Сегментация широко используется для поиска, классификации и распознавания объектов на изображениях. С ростом разрешающей способности видеокамер детализация изображений повышается, что приводит к разбиению их на все большее число областей и делает сегментацию по яркости неэффективной. В таких случаях необходимо использовать текстурную сегментацию, объединяющую в однородные области близко расположенные относительно мелкие, схожие по структуре, повторяющиеся элементы изображения. Большинство методов текстурной сегментации использует фильтрацию, что ограничивает их дискриминантную способность и быстродействие типами и размерами фильтров. Преодоление данных недостатков возможно за счет учета формы и концентрации контурных элементов произвольного размера, образующих текстуры. Исследованию данного подхода посвящена диссертационная работа.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Связь работы с крупными научными программами**

Тема диссертационной работы соответствует пункту 5.4 приоритетных направлений научных исследований Республики Беларусь на 2011–2015 гг., утвержденных Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 585 от 19 апреля 2010 г., «Математические и интеллектуальные методы, информационные технологии и системы распознавания и обработки образов, сигналов, речи и мультимедийной информации», а также пункту 5 приоритетных направлений научных исследований Республики Беларусь на 2016–2020 гг., утвержденных Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 190 от 12 марта 2015 г., «Информатика и космические исследования». Работа выполнялась в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» в рамках НИР ГБ 11-2033 «Разработка и исследование методов и технологий построения мультисервисных локальных мобильных сетей» (2011–2015 гг.) и НИР ГБ 16-2033 «Исследование методов обработки и передачи видеоданных в инфокоммуникациях» (2016–2020 гг.).

### **Цель и задачи исследования**

Целью диссертационной работы является развитие методов и разработка алгоритмов сегментации изображений, обеспечивающих повышение точности определения границ текстурных областей за счет учета формы и концентрации образующих их контурных элементов произвольного размера.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- определены типовые формы контурных элементов, рассматриваемых в качестве текстурных образующих, и система идентификационных параметров, обеспечивающие определение типов образующих и сегментацию текстурных областей на изображениях;
- разработаны метод и алгоритмы текстурной сегментации изображений, обеспечивающие уменьшение ошибки выделения границ текстурных областей за счет учета формы и концентрации контурных образующих;
- разработаны программные средства текстурной сегментации изображений для оценки эффективности предложенных алгоритмов.

### **Научная новизна**

1. Предложен метод текстурной сегментации изображений на основе анализа формы контурных образующих, отличающийся использованием близко расположенных контурных элементов схожей формы для формирования однородных областей, что позволило уменьшить ошибку определения границ непериодических текстур в 2,3 раза по сравнению с методом на основе энергетических карт при увеличении времени обработки в 8 раз.

2. Разработан алгоритм текстурной сегментации изображений на основе оценки концентрации контурных образующих, отличающийся использованием однотипных равноудаленных контурных элементов для формирования однородных областей, что позволило уменьшить ошибку определения границ периодических и квазипериодических текстур в 18 раз по сравнению с алгоритмом на основе энергетических карт при увеличении времени обработки в 20 раз.

3. Разработан алгоритм текстурной сегментации изображений на основе поглощения незначимых контурных образующих, отличающийся присоединением небольших групп контурных образующих на границах нескольких областей к более крупным областям, что позволило уменьшить ошибку определения границ периодических и квазипериодических текстур в 98 раз по сравнению с алгоритмом на основе энергетических карт при увеличении времени обработки в 27 раз.

### **Положения, выносимые на защиту**

1. Метод текстурной сегментации изображений на основе анализа формы контурных образующих.

2. Алгоритм текстурной сегментации изображений на основе оценки концентрации контурных образующих.

3. Алгоритм текстурной сегментации изображений на основе поглощения незначимых контурных образующих.

### **Личный вклад соискателя ученой степени**

Содержание диссертации отображает личный вклад автора. Он заключается в научном обосновании методов и алгоритмов выделения текстурных областей изображений, постановке и проведении экспериментов по исследованию характеристик, оценке эффективности разработанных методов и алгоритмов, обработке и анализе полученных результатов, формулировке выводов.

Определение целей и задач исследований, интерпретация и обобщение полученных результатов проводились совместно с научным руководителем д-м техн. наук В. Ю. Цветковым.

### **Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов**

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях: Международные научно-технические семинары «Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных» (Минск, 2014–2016); XV Международная конференция «Развитие информатизации и государственной системы научно-технической информации» (Минск, 2016); Second Engineering Scientific Conference (Iraq, Diyala, 2015); Al-Sadiq International conference on Multidisciplinary in IT and Communication Science and Technologies (Iraq, Baghdad, 2016); XIV научно-техническая конференция БГУИР «Технические средства защиты информации» (Минск, 2016); 14-я научно-техническая конференция БНТУ «Наука – образованию, производству, экономике» (Минск, 2016); III Международная научно-практическая конференция «Big Data and Advanced Analytics» (Минск, 2017).

Результаты диссертационной работы использованы в лабораторном курсе по дисциплине «Обработка, кодирование и передача изображений в телевизионных системах» специальности «Системы, сети и устройства телекоммуникаций» магистратуры в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

### **Опубликование результатов диссертации**

По результатам исследований, представленных в диссертации, опубликовано 13 печатных работ, в том числе: 3 статьи в научных журналах общим объемом 2,5 авторских листа; 8 статей и 2 тезисов в сборниках и материалах конференций.

## Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав с выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка и пяти приложений.

Общий объем диссертационной работы составляет 250 страницы, из них 80 страниц текста, 50 рисунков на 21 страницах, 18 таблиц на 10 страницах, список использованных библиографических источников (169 наименований на 15 страницах), список публикаций автора по теме диссертации (13 наименований на 3 страницах), 6 приложений на 124 страницах.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, показана необходимость проведения исследований методов и алгоритмов текстурной сегментации, направленных на повышение точности выделения текстурных областей на изображениях.

В **первой главе** рассмотрены методы и алгоритмы текстурной сегментации изображений.

Показано, что в большинстве методов текстурной сегментации, основанных на локальных бинарных шаблонах, автокорреляции, полутоновых матрицах смежности, моделях марковского случайного поля, фрактальных моделях, текстонах, диаграммах Вороного, преобразовании Фурье, фильтрах Габора, вейвлет-преобразовании, используется оценка локальных статистических особенностей изображений в пространственной области или области преобразования. Наиболее общая модель текстурной сегментации на основе преобразования, сохраняющего локализацию текстурных областей, используется в методе Лавса. Недостатком данного метода и его модификаций, а также других методов текстурной сегментации на основе преобразований является зависимость форм и размеров выделяемых текстурных элементов от сложности фильтров, что приводит к недостаточной дискриминантной способности этих методов при выделении текстур, образованных элементами сложной формы в условиях ограниченных вычислительных ресурсов. Для обработки текстурных образующих произвольного размера с приемлемой вычислительной сложностью предлагается подход, основанный на контурной обработке изображения, анализе формы и размеров контурных элементов, выделении из их числа контурных образующих, определении их типов, замене каждого контурного образующего одной центральной или множеством опорных точек и использовании скользящего окна для вычисления локальной энергии, что позволяет достаточно точно учитывать концентрацию опорных точек за счет выбора размера окна анализа и порога для оценки вероятности их появления при существенно меньшей вычислительной сложности.

Во второй главе описаны предложенное множество контурных образующих для представления структуры текстурных областей и метод текстурной сегментации на основе анализа формы контурных образующих.

Множество контурных образующих включает элементы следующих типов (таблица 1): «Точка» – не имеет концевых точек и содержит меньше пяти соседних контурных точек; «Короткая прямая линия» – содержит две концевые точки и малое число соседних контурных точек; «Короткая кривая линия» – имеет две концевые точки с несколькими соседними контурными точками; «Клякса» – имеет три и более концевых точек и множество контурных точек с большим числом соседей; «Пятно» – не имеет концевых точек, но содержит большое число контурных точек с числом соседей более четырех; «Длинная линия» – содержит две концевые точки и большое число соседних контурных точек.

Таблица 1. – Примеры значений идентификаторов контурных образующих

Типы контурных элементов	Значения параметров идентификации								
	Количество соседних контурных пикселей								Число концевых точек
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1. Точка	Менее пяти соседних контурных пикселей								
2. Длинная линия	2	14	5	1	0	1	0	0	2
3. Короткая кривая линия	2	1	0	2	3	0	1	0	2
4. Короткая прямая линия	2	2	1	0	0	0	0	0	2
5. Клякса	4	1	2	10	4	8	3	9	4
6. Пятно	0	0	9	1	3	10	5	12	0

В результате идентификации каждому контурному элементу с номером  $n$  ставится в соответствие идентификатор (дескриптор)  $D(n) = \|d(k, n)\|_{(k=0, K_D-1)}$  из множества  $\{D(n)\}_{(n=1, N_S)}$  идентификаторов, относящий его по совокупности значений идентификационных параметров к определенному образующему  $z$ , где  $K_D$  – число идентификационных параметров,  $N_S$  – число контурных элементов.

Предложенное множество контурных образующих используется в разработанном методе текстурной сегментации изображений на основе анализа формы контурных образующих. Сущность метода состоит в поиске на изображении контурных образующих, преобразовании близко расположенных контурных образующих одинаковой формы в бинарные площадные объекты, двоичном кодировании взаимного расположения полученных площадных объектов в границах исходного изображения, сегментации полученной кодовой матрицы (рисунок 1).



Рисунок 1. – Схема метода текстурной сегментации изображений на основе анализа формы контурных образующих

Алгоритм текстурной сегментации изображений на основе анализа формы контурных образующих состоит из следующих шагов:

1. Высокочастотная фильтрация изображения (формируется бинарная матрица  $B = \|b(y, x)\|_{(y=0, \overline{Y-1}, x=0, \overline{X-1})}$ , единичным элементам которой соответствуют контурные точки, линии, площадные объекты).

2. Сегментация контурных элементов (формируется матрица сегментации  $SM = \|sm(y, x)\|_{(y=0, \overline{Y-1}, x=0, \overline{X-1})}$ , фоновым элементам которой соответствует ноль, а остальным элементам – номера  $sm(y, x) \in [0, N_s]$  сегментов);

3. Поиск контурных образующих, представляющих текстуры согласно идентификационным параметрам, приведенным в таблице 1.

4. Распределение контурных образующих по битовым плоскостям с учетом их формы (формируется множество  $\{P_B(z)\}_{(z=0, \overline{Z_p-1})}$  битовых плоскостей  $P_B(z) = \|P_B(y, x, z)\|_{(y=0, \overline{Y-1}, x=0, \overline{X-1})}$ , единичные элементы которых показывают положение соответствующих контурных образующих определенной формы  $z$ );

5. Дискретизация контурных образующих (выполняется замена контурных образующих множеством равноудаленных маркерных точек, в результате чего формируется множество  $\{P_{PB}(z)\}_{(z=0, \overline{Z_p-1})}$  точечных битовых плоскостей).

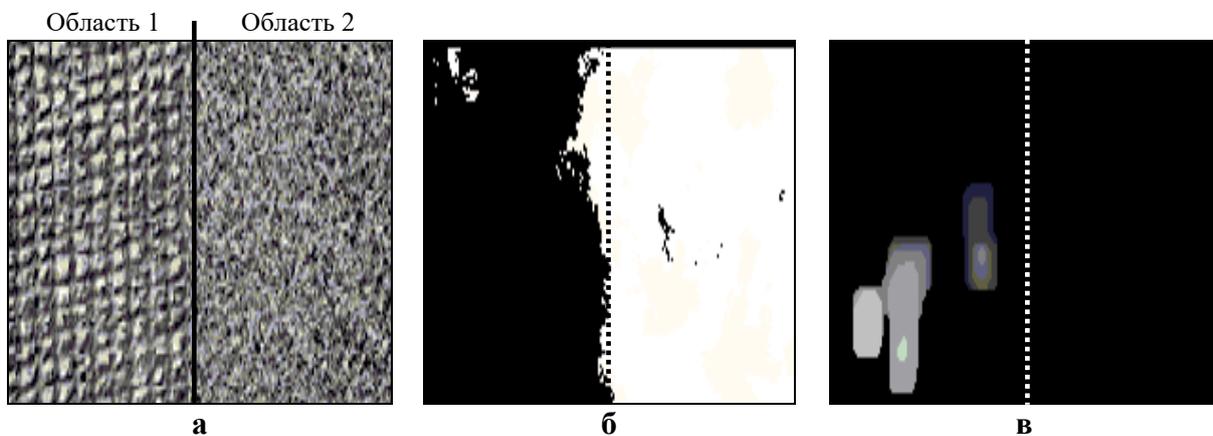
6. Формирование бинарных интегральных изображений (каждая битовая плоскость  $P_{PB}(z)$  подвергается низкочастотной фильтрации и пороговой обработке, в результате чего образуются площадные объекты и формируется множество  $\{P_{LP}(z)\}_{(z=0, Z_P-1)}$  бинарных интегральных изображений).

7. Построение результирующего интегрального изображения  $I_I = \parallel i_I(y, x) \parallel_{(y=0, Y-1, x=0, X-1)}$  в соответствии с выражением

$$i_I(y, x) \leftarrow \sum_{z=0}^{Z_P-1} p_{LP}(y, x, z) 2^z.$$

8. Сегментация результирующего интегрального изображения (формируется матрица  $SM_R = \parallel sm_R(y, x) \parallel_{(y=0, Y-1, x=0, X-1)}$  сегментации, каждый элемент которой принимает значение ноль, если соответствующий пиксель изображения не относится к текстуре, или номер текстурного сегмента, к которому принадлежит соответствующий пиксель).

С использованием стандартных баз Brodatz и UIUCTex тестовых текстурных изображений показано, что предложенный метод по сравнению с методом на основе энергетических карт обеспечивает уменьшение ошибки определения границ непериодических текстур в 2,3 раза за счет увеличения времени обработки в 8,1 раза с усреднением по изображениям. На рисунке 2 приведены тестовое изображение, содержащее две текстурные области, и результаты его сегментации.



**а – тестовое изображение;**  
**б – результат сегментации с помощью контурных образующих;**  
**в – результат сегментации с помощью энергетических карт**  
**Рисунок 2. – Тестовое изображение и результаты его текстурной сегментации**

В третьей главе приведено описание разработанных алгоритмов текстурной сегментации изображений на основе оценки концентрации и поглощения незначимых контурных образующих.

Алгоритм текстурной сегментации изображений на основе оценки концентрации контурных образующих состоит из следующих шагов:

1. Поиск на изображении контурных образующих (выделение и сегментация

контурных элементов изображения, в результате чего формируется матрица сегментации  $SM = \|sm(y, x)\|_{(y=0, \overline{Y-1}, x=0, \overline{X-1})}$ , в которой фоновым элементам соответствует ноль, а остальным элементам – номера  $sm(y, x) \in [0, N_S]$  сегментов, где  $N_S$  – число сегментов).

2. Идентификация контурных образующих по дескрипторам таблицы 1.

3. Формирование площадных объектов из равноудаленных контурных образующих одинаковой формы (распределение по битовым плоскостям и локализация контурных образующих, в результате чего каждый из них заменяется одной центральной точкой и формируется множество  $P_{PB} k$   $k=1, K_C$  точечных плоскостей  $P_{PB} k = \|p_{PB} k, y, x\|_{y=0, \overline{Y-1}, x=0, \overline{X-1}}$ , ненулевые элементы  $p_{PB} k, y, x = sm(y, x)$  которых указывают на центральные точки соответствующих контурных образующих, где  $K_C$  – число точечных плоскостей) (рисунок 3).

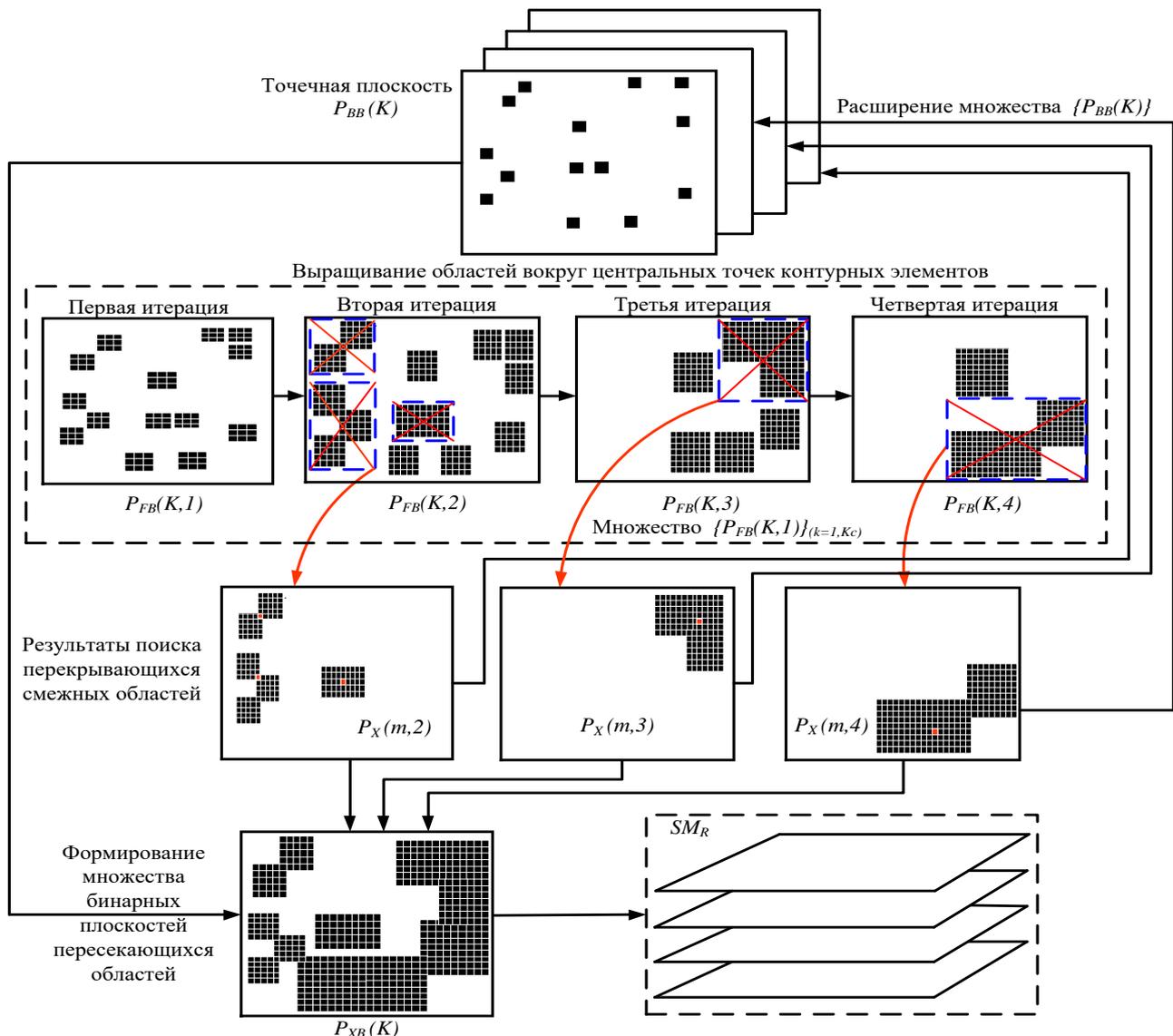


Рисунок 3. – Объединение равноудаленных центральных точек контурных образующих

4. Объединение равноудаленных центральных точек контурных образующих и перенос полученных в результате площадных объектов в отдельные битовые плоскости (формируется множество  $P_{XB} k$   $k=1, \overline{K_C - K_P}$  бинарных плоскостей  $P_{XB} k = \left\| p_{XB} k, y, x \right\|_{y=0, \overline{Y-1}, x=0, \overline{X-1}}$  пересекающихся областей, единичные элементы которых сосредоточены в квадратах размером  $2p_R k - 1 + 1 \times 2p_R k - 1 + 1$  вокруг проекций ненулевых элементов  $p_{PB} k + K_P, y, x$  при  $k=1, \overline{K_C - K_P}$ , где  $K_P$  – число контурных образующих).

5. Формирование результирующей матрицы  $SM_R = \left\| sm_R y, x \right\|_{y=0, \overline{Y-1}, x=0, \overline{X-1}}$  сегментации, значения элементов которой вычисляются с помощью выражения  $sm_R y, x \leftarrow \sum_{k=1}^{K_C - K_P} p_{XB} k, y, x 2^{k-1}$ .

Для получения объективной оценки точности сегментации с помощью разработанного алгоритма в сравнении с алгоритмом на основе энергетических карт использованы тестовые изображения, содержащие по две периодических текстуры (рисунок 4), граница между которыми проходит по центру.

	Клякса/длинная линия	Длинная линия/пятно	Клякса/точка
Тестовые изображения			
Сегментация на основе оценки концентрации контурных образующих			
Сегментация на основе энергетических карт			

Рисунок 4. – Тестовые изображения и результаты их сегментации с помощью алгоритмов на основе оценки концентрации контурных образующих и энергетических карт

По сравнению с алгоритмом на основе энергетических карт разработанный алгоритм обеспечивает уменьшение ошибки определения границ периодических текстур в 18 раз за счет увеличения времени сегментации в 20 раз (таблица 2).

Таблица 2. – Ошибки и время текстурной сегментации

Тестовые изображения	Ошибки текстурной сегментации		Время текстурной сегментации, с	
	Предложенный алгоритм	Энергетические карты	Предложенный алгоритм	Энергетические карты
Клякса/длинная линия	0	0,26	4,78	1,75
Длинная линия/пятно	0,01	0,28	12,84	1,76
Клякса/точка	0	0,05	15,12	1,75

Недостатком алгоритма на основе оценки концентрации контурных образующих является выделение множества мелких объектов вблизи границ текстурных областей, что вызывает ошибки при текстурной сегментации изображений высокого разрешения. Данный недостаток устранен в алгоритме на основе поглощения незначимых контурных образующих за счет анализа перекрытий площадных объектов различных битовых плоскостей и присоединения незначимых результатов их пересечений к объектам большей площади.

Для поглощения мелких областей реализуются следующие шаги (рисунок 5):

1. Формирование промежуточной матрицы  $SM_T = \|sm_T\|_{y=\overline{0,Y-1}, x=\overline{0,X-1}}$  сегментации в результате объединения бинарных плоскостей  $P_{XB}^k$   $k = \overline{1, K_C - K_P}$  пересекающихся областей, элементы которой вычисляются с помощью выражения  $sm_T\ y, x \leftarrow \sum_{k=1}^{K_C - K_P} P_{XB}^k\ y, x \cdot 2^{k-1}$  при  $y = \overline{0, Y-1}$ ,  $x = \overline{0, X-1}$ .

2. Формирование матрицы  $SM_X = \|sm_X\|_{y=\overline{0,Y-1}, x=\overline{0,X-1}}$  перекрытий, состоящей из элементов матрицы  $SM_T$ , значения которых не соответствуют значениям  $2^k$ , с помощью выражения  $sm_X\ y, x \leftarrow \begin{cases} sm_T\ y, x & \text{при } sm_T\ y, x \neq 2^k, \\ 0 & \text{при } sm_T\ y, x = 2^k, \end{cases}$

где  $k = \overline{1, K_C - K_P}$ .

3. Формирование вектора  $M_S = \|m_S\|_{z=\overline{0, N_X}}$  площадей перекрытий, элементы которого вычисляются с помощью выражения  $m_S\ sm_X\ y, x \leftarrow m_S\ sm_X\ y, x + 1$  при  $y = \overline{0, Y-1}$ ,  $x = \overline{0, X-1}$ , где  $N_X$  – число перекрытий сегментов (при инициализации вектора  $M_S$  его значения определяются нулевыми).

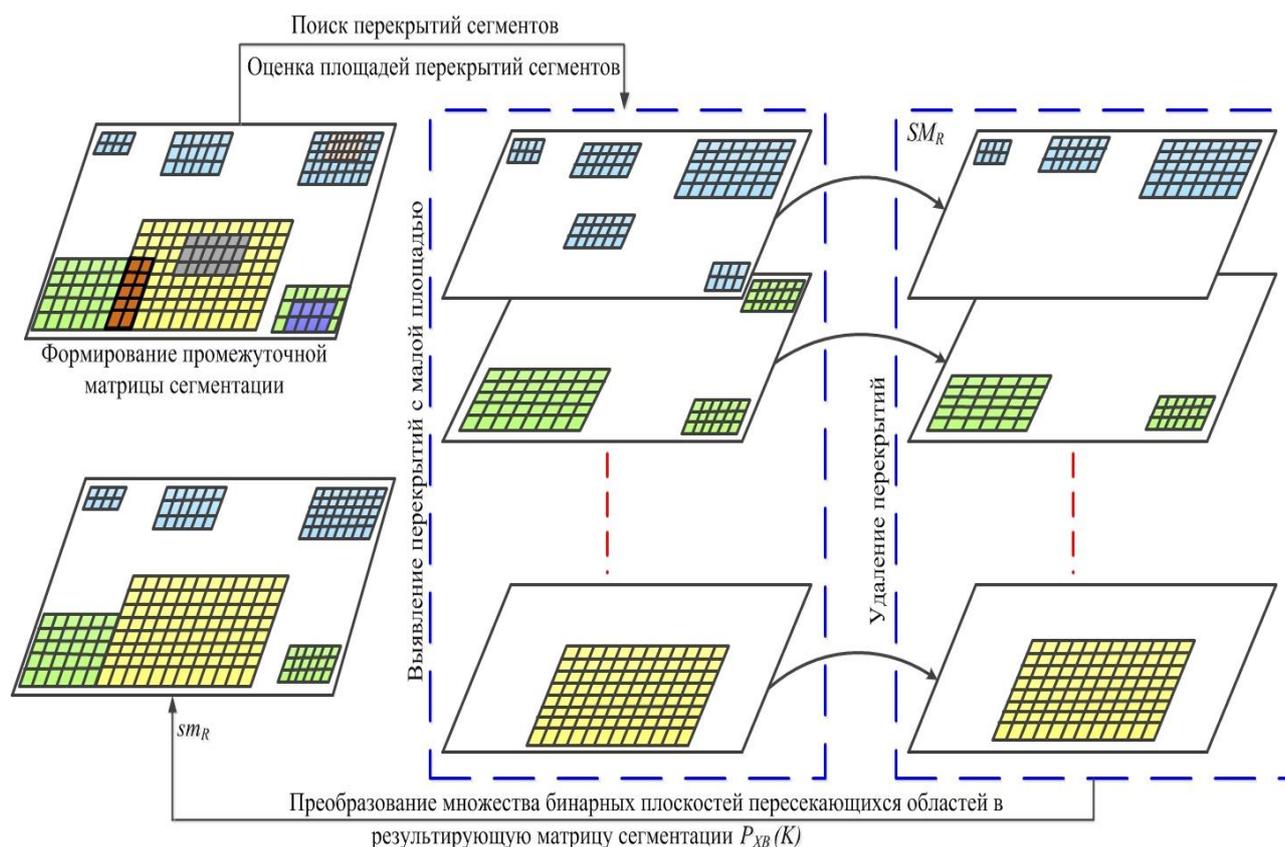


Рисунок 5. – Диаграмма обработки битовых плоскостей пересекающихся областей

4. Обнуление элементов матрицы  $SM_X$ , для которых соответствующие значения вектора  $M_S$  больше порога, с помощью выражения  $m_S sm_X y,x > T_S \Rightarrow sm_X y,x \leftarrow 0$  при  $y = \overline{0, Y-1}$ ,  $x = \overline{0, X-1}$ , где  $T_S$  – порог, значение которого может быть установлено равным 35 по минимальной площади текстуры  $7 \times 5$  пикселей, образованной 6 точками, расположенными в два ряда по три точки с минимальным интервалом в один пиксель (если матрица  $SM_X$  оказывается нулевой – перекрытия с малой площадью отсутствуют).

5. Для каждого перекрытия, состоящего из ненулевых элементов  $sm_X y,x$  матрицы  $SM_X$ , имеющих одинаковые значения, определяются базовые сегменты (два и более), принадлежащие различным бинарным плоскостям  $P_{XB} k$ , что позволяет определить бинарные плоскости  $P_{XB} k$  и сегменты, имеющие малые перекрытия.

6. Для удаления малых сегментов в области перекрытий среди базовых сегментов определяется главный базовый сегмент, имеющий наибольшую площадь и принадлежащий старшей бинарной плоскости  $P_{XB} k$ , к которому добавляется перекрытие, вычитаемое из остальных базовых сегментов (если после удаления перекрытий размеры некоторых базовых сегментов становятся меньше порога  $T_S$ , то они удаляются и составляющие их элементы в матрице  $P_{XB} k$  обнуляются).

Для получения объективной оценки точности сегментации с помощью

разработанного алгоритма по сравнению с алгоритмом на основе энергетических карт использованы тестовые изображения, содержащие по две периодические текстуры с различной сложностью и плотностью (рисунок 6), граница между которыми проходит по центру. По сравнению с алгоритмом на основе энергетических карт разработанный алгоритм обеспечивает уменьшение ошибки определения границ периодических текстур в 98 раз за счет повышения вычислительной сложности и увеличения времени сегментации в 27 раз (таблица 3).

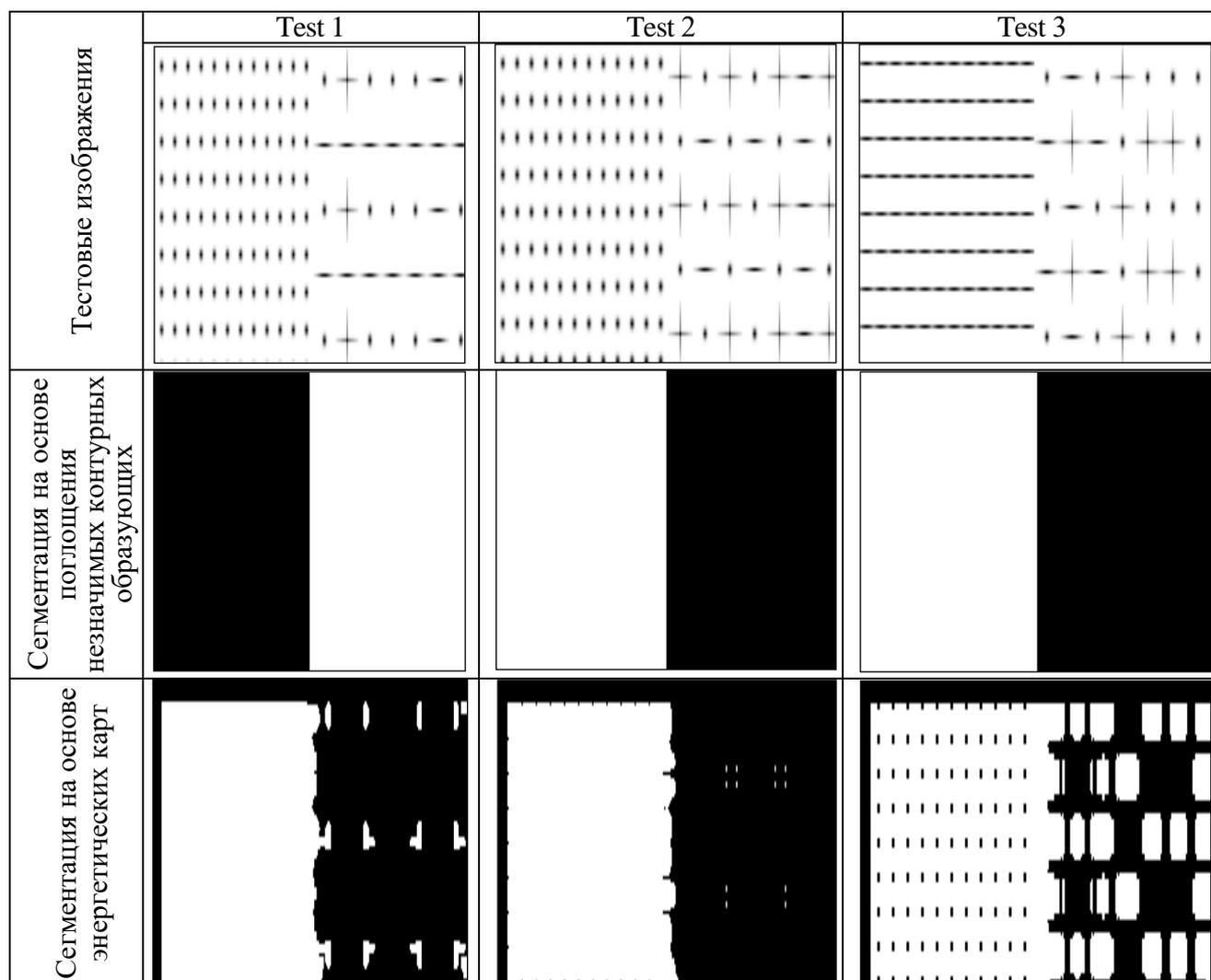


Рисунок 6. – Тестовые изображения и результаты их сегментации с помощью алгоритмов на основе поглощения незначимых контурных образующих и энергетических карт

Таблица 3. – Ошибки и время текстурной сегментации

Тестовые изображения	Ошибки текстурной сегментации		Время текстурной сегментации, с	
	Предложенный алгоритм	Энергетические карты	Предложенный алгоритм	Энергетические карты
Test 1	0,0041	0,11	53,96	2,49
Test 2	0,0041	0,08	101,21	2,60
Test 3	0,0041	0,30	77,13	2,54
Test 4	0,0041	0,06	44,68	2,62

В четвертой главе приведены рекомендации по выбору параметров, обеспечивающих эффективное использование разработанных метода и алгоритмов для текстурной сегментации изображений земной поверхности. Для формирования рекомендаций разработаны база тестовых изображений, критерии оценки эффективности и соответствующее программное средство (рисунок 7), позволяющие объективно интерпретировать данные о числе, положении и форме текстурных сегментов, получаемых в результате использования алгоритмов сегментации, и определить наилучшие значения их переменных параметров.

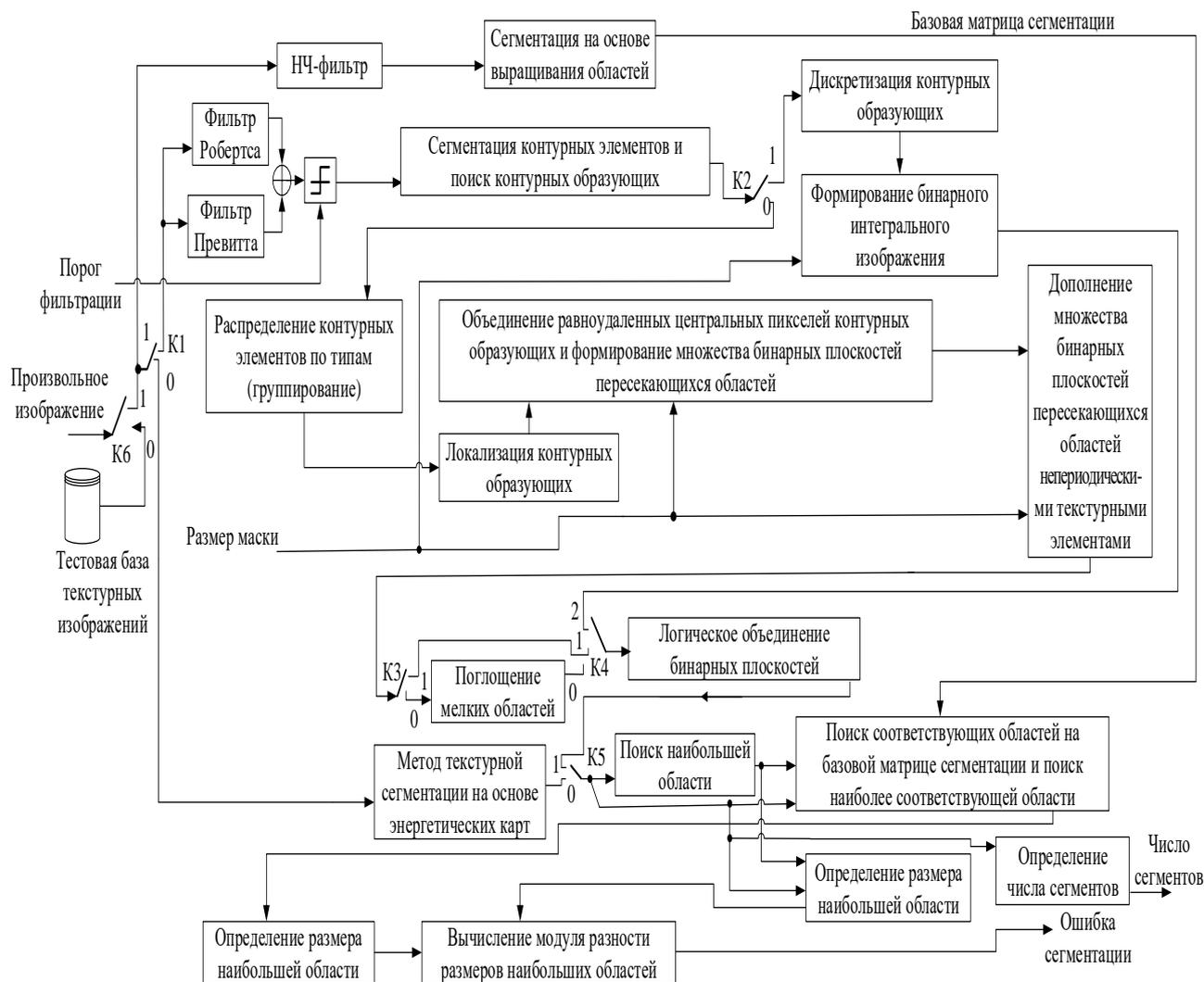
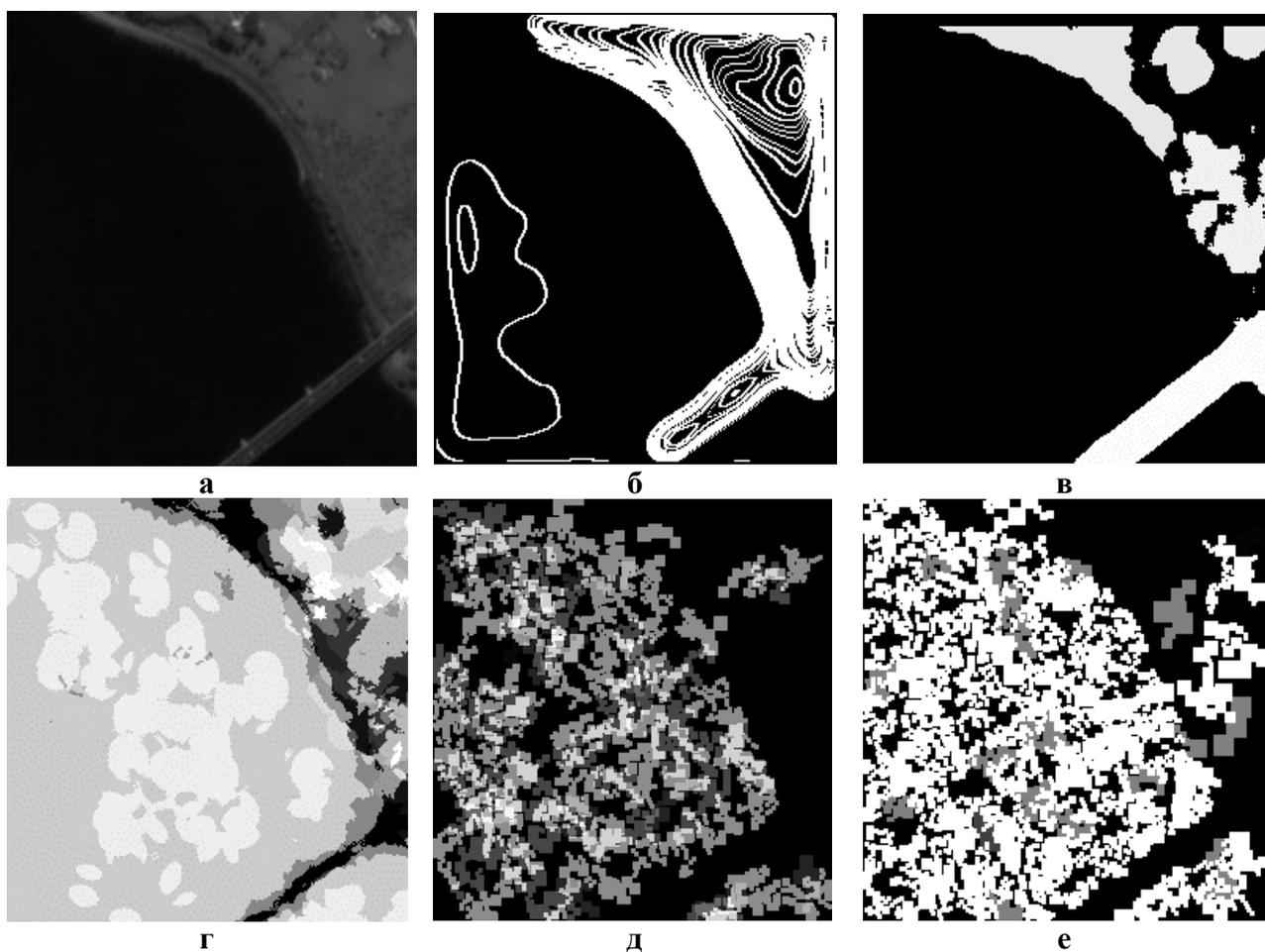


Рисунок 7. – Структура программного средства оценки эффективности алгоритмов текстурной сегментации изображений

Тестовая база состоит из девяти групп изображений земной поверхности. Каждая группа включает схожие по структуре изображения, содержащие текстурные объекты следующих типов: горы и лес; лес; лес и луг; море и город (порт); земную поверхность и облака в ночное время суток; поля; лес, луг и реку; море и луг; море, лес и луг. Из анализа гистограмм этих тестовых изображений следует, что они имеют схожее распределение яркости пикселей в пределах

группы. Это позволяет выбрать одно изображение из каждой тестовой группы для ее представления и распространить интерпретацию результатов поиска текстур, полученных для этих базовых изображений, и рекомендации по выбору параметров алгоритмов на соответствующие группы изображений.

Для оценки эффективности алгоритмов текстурной сегментации в равных условиях к базовым тестовым изображениям применены низкочастотная фильтрация, сегментация и контурная обработка. В качестве критериев эффективности алгоритмов текстурной сегментации использованы ошибки локализации текстурной области наибольшей площади по отношению к соответствующей области на сегментированном сглаженном базовом изображении. На рисунке 8 приведено тестовое изображение земной поверхности и результаты его сегментации с помощью методов различных алгоритмов.



**а** – тестовое изображение; **б** – контурная обработка сегментированного низкочастотного тестового изображения; **в** – результат текстурной сегментации с помощью энергетических карт; **г** – результат сегментации на основе анализа формы контурных образующих; **д** – результат сегментации на основе оценки концентрации контурных образующих; **е** – результат сегментации на основе поглощения незначимых контурных образующих

**Рисунок 8. – Тестовое изображение земной поверхности и результаты его текстурной сегментации**

Экспериментально установлено, что алгоритм на основе оценки концентрации контурных образующих обеспечивает минимальную среднюю взвешенную ошибку локализации сегментов 10 пикселей/сегмент, примерно в 22 раза меньшую по сравнению с алгоритмами на основе анализа формы и поглощения незначимых контурных образующих, и в 78 раз меньшую по сравнению с алгоритмом на основе энергетических карт.

В приложениях содержатся расчетные и экспериментальные данные, акт о практическом использовании результатов диссертационной работы.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

### **Основные научные результаты диссертации**

1. Разработан метод текстурной сегментации изображений на основе анализа формы контурных образующих. Сущность метода состоит в поиске на изображении контурных образующих, преобразовании близко расположенных контурных образующих одинаковой формы в бинарные площадные объекты, двоичном кодировании взаимного расположения полученных площадных объектов в границах исходного изображения, сегментации полученной кодовой матрицы для формирования однородных областей. Метод обеспечивает уменьшение ошибки определения границ неперриодических текстур в 2,3 раза по сравнению с методом на основе энергетических карт при увеличении времени обработки в 8,1 раза [1, 4, 5, 6, 7, 8, 12].

2. Разработан алгоритм текстурной сегментации изображений на основе оценки концентрации контурных образующих. Сущность алгоритма состоит в поиске на изображении контурных образующих, формировании площадных объектов из равноудаленных контурных образующих одинаковой формы, переносе этих объектов в отдельные битовые плоскости и двоичном представлении полученных битовых плоскостей. По сравнению с алгоритмом на основе энергетических карт разработанный алгоритм обеспечивает уменьшение ошибки определения границ периодических и квазипериодических текстур в 18 раз при увеличении времени сегментации в 20 раз [2, 9, 10, 11, 13].

3. Разработан алгоритм текстурной сегментации изображений на основе поглощения незначимых контурных образующих. Сущность алгоритма состоит в поиске на изображении контурных образующих, формировании площадных объектов из равноудаленных контурных образующих одинаковой формы, переносе этих площадных объектов в отдельные битовые плоскости, анализе перекрытий площадных объектов различных битовых плоскостей и присоединении незначимых результатов их пересечений к объектам большей площади. Алгоритм обеспечивает уменьшение ошибки определения границ периодических и квазипериодических текстур в 98 раз при увеличении времени сегментации в 27 раз [3].

## Рекомендации по практическому использованию результатов

Предложенные метод и алгоритмы текстурной сегментации на основе контурных образующих предназначены для выделения площадных объектов с непериодической, периодической и квазипериодической текстурой и могут эффективно использоваться для обработки изображений земной поверхности в системах видеонаблюдения воздушного и космического базирования, геоинформационных системах, а также системах технического зрения. Разработанные программные средства текстурной сегментации на основе контурных образующих позволяют оценить ошибки определения границ текстурных областей и сформировать рекомендации по использованию предложенных алгоритмов в различных условиях.

Для выделения периодических и квазипериодических текстур на изображениях земной поверхности рекомендуется использовать алгоритм на основе оценки концентрации контурных образующих, обеспечивающий среднюю взвешенную ошибку выделения границ периодических и квазипериодических текстур 10 пикселей/сегмент, примерно в 22 раза меньшую по сравнению с алгоритмами на основе анализа формы и поглощения незначимых контурных образующих, и в 78 раз меньшую по сравнению с алгоритмом на основе энергетических карт.

Для быстрой сегментации изображений земной поверхности рекомендуется использовать алгоритм на основе анализа формы контурных образующих, обеспечивающий в 2,5 раза большую скорость сегментации по сравнению с алгоритмом на основе оценки концентрации контурных образующих. Средняя взвешенная ошибка локализации текстур для данного алгоритма может быть уменьшена примерно в 2,4 и 2,9 раза за счет нормализации по яркости и эквализации изображений соответственно.

Для выделения периодических и квазипериодических текстур, граничащих с областями, имеющими равномерное распределение яркости, рекомендуется использовать алгоритм на основе поглощения незначимых контурных образующих, обеспечивающий в данных условиях уменьшение ошибки локализации текстур в 20 раз по сравнению с алгоритмом на основе оценки концентрации контурных образующих.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

### Статьи в рецензируемых научных журналах

1. Текстурная сегментация изображений на основе классификации контурных элементов / В. К. Конопелько, С. Н. Касанин, В. Ю. Цветков, Х. М. Альзаки // *Веснік Сувязі*. – 2016. – № 1 (135). – С. 48–52.

2. Альзаки, Х. М. Текстурная сегментация изображений на основе геометрической классификации и оценки плотности контурных элементов / Х. М. Альзаки, В. Ю. Цветков // *Доклады БГУИР*. – 2017. – № 3(105). – С. 93–100.

3. Альзаки, Х. М. Текстурная сегментация изображений на основе оценки плотности контурных элементов и поглощения мелких областей / Х. М. Альзаки, В. Ю. Цветков // *Доклады БГУИР*. – 2017. – № 5(107). – С. 46–54.

### Статьи в сборниках научных трудов, материалов конференций и семинаров

4. Альмияхи, О. М. Сегментация изображений на основе прямой и обратной кластеризации / О. М. Альмияхи, Х. М. Альзаки, Т. М. Аль-Джубури // *Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных : материалы междунар. науч.-техн. семинара, Минск, апрель – декабрь 2014 г.* / БГУИР. – Минск, 2014. – С. 67–72.

5. Alzakki, H. M. Contour processing of texture Images / H. M. Alzakki, V. Yu. Tsviatkou // *Second Engineering Scientific Conference – College of Engineering – University of Diyala, 16–17 December // Diyala Journal of Engineering Sciences*. – 2015. – Vol. 08, № 04, Special Issue. – P. 453–461.

6. Альзаки, Х. М. Сегментация текстурных изображений на основе классификации контурных элементов и логического сложения классов / Х. М. Альзаки, В. Ю. Цветков, В. К. Конопелько // *Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных : материалы междунар. науч.-техн. семинара, Минск, апрель – декабрь 2015 г.* / БГУИР. – Минск, 2015. – С. 19–24.

7. Alzakki, H. Texture image segmentation based on classification of contour elements and logical addition of classes / H. Alzakki, V. Tsviatkou // *2016 Al-Sadeq International Conference on Multidisciplinary in IT and Communication Science and Applications (AIC-MITCSA) : IEEE Conference Publications, 9–10 May*. – 2016. – P. 1–6.

8. Альзаки, Х. М. Итеративное объединение изолированных однородных областей изображений с использованием минимального расстояния между ними / Х. М. Альзаки, В. Ю. Цветков // *Развитие информатизации и государственной системы научно-технической информации (РИНТИ-2016) : доклады XV*

Междунар. конф., Минск, 17 ноября 2016 г. / ОИПИ НАН Беларуси. – Минск, 2016. – С. 234–239.

9. Alzakki, H. M. Texture image segmentation based on classification, skeletonization and crossing of contour elements / H. M. Alzakki // Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных: материалы междунар. науч.-техн. семинара, Минск, апрель – декабрь 2016 г. : в 2 ч. / БГУИР. – Минск, 2016. – Ч. 1. – С. 18–24.

10. Альзаки, Х. М. Выделение текстурных областей изображений на основе геометрической классификации и оценки плотности контурных элементов / Х. М. Альзаки, В. Ю. Цветков // Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных : материалы междунар. науч.-техн. семинара, Минск, апрель – декабрь 2016 г. : в 2 ч. / БГУИР. – Минск, 2016. – Ч. 2. – С. 17–23.

11. Alzakki, H. M. Selection texture regions on the image based on classification assessment density of contour elements / H. M. Alzakki, V. Tsviatkou // BIG DATA and Advanced Analytics : материалы 4-й Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 3–4 мая 2016 г. / БГУИР. – Минск, 2016. – С. 113–119.

### **Тезисы докладов**

12. Контурный анализ в текстурной сегментации изображений / Х. М. Альзаки, В. Ю. Цветков, М. Б. М. Махммуд, С. Х. Карбалаи // Наука – образованию, производству, экономике : тез. докл. 14-й Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 7 мая 2016 г. : в 4 т. / БНТУ. – Минск, 2016. – Т. 1 : Информационные системы и технологии. – С. 213.

13. Визуальное шифрование сегментированных изображений на основе перестановок битовых плоскостей / Х. М. Альзаки, В. Ю. Цветков, М. Б. М. Махммуд, С. Х. Карбалаи, Ф. Р. Алиханов // Технические средства защиты информации : тез. докл. XIV Бел.-рос. науч.-техн. конф., Минск, 25–26 мая 2016 г. / БГУИР. – Минск, 2016. – С. 23.

**РЭЗІЮМЭ**

Альзакі Хайдэр Маккі Хамід

**Тэкстурная сегментацыя відарысаў на аснове контурных утваральных**

**Ключавыя словы:** тэкстурная сегментацыя відарысаў, контурныя ўтваральныя, аналіз формы контурных утваральных, адзнака канцэнтрацыі контурных утваральных, паглынанне малаважных контурных утваральных, падвышэнне дакладнасці вылучэння меж тэкстурных абласцей.

**Мэта даследаванняў:** развіццё метадаў і распрацоўка алгарытмаў сегментацыі відарысаў, забяспечвальных падвышэнне дакладнасці азначэння меж тэкстурных абласцей за рахунак уліку формы і канцэнтрацыі ўтваральных іх контурных элементаў адвольнага памеру.

**Атрыманыя вынікі і іх навізна:** распрацаваныя метады і алгарытмы тэкстурнай сегментацыі відарысаў на аснове аналізу формы, адзнакі канцэнтрацыі і паглынання малаважных контурных утваральных, адрозныя выкарыстаннем блізка размешчаных контурных элементаў падобнай формы і аднатыпных роўнападаленых контурных элементаў для фармавання аднастайных абласцей, далучэннем невялікіх груп контурных утваральных на межах некалькіх абласцей да буйнейшых абласцей, што дазволіла ў параўнанні з метадам на аснове энергетычных карт паменшыць памылку азначэння меж: а) у 2,3 разу – для непэрыядычных тэкстур за рахунак аналізу формы контурных утваральных пры павелічэнні часу апрацоўкі ў 8 раз; б) у 18 і 98 раз – для перыядычных (квазіперыядычных) тэкстур за рахунак адзнакі канцэнтрацыі і паглынання незначимых контурных утваральных пры павелічэнні часу апрацоўкі ў 20 і 27 раз адпаведна. Распрацаваныя праграмныя сродкі тэкстурнай сегментацыі на аснове контурных утваральных, якія дазваляюць ацаніць памылкі азначэння меж тэкстурных абласцей і сфармаваць рэкамендацыі па выкарыстанні прапанаваных алгарытмаў у розных умовах.

**Ступень выкарыстання:** вынікі дысертацыйнай працы выкарыстаныя ў лабараторным курсе па дысцыпліне "Апрацоўка, кадаванне і перадача відарысаў у тэлевізійных сістэмах" спецыяльнасці "Сістэмы, сеткі і прылады тэлекамунакацый" магістратуры ва ўстанове адукацыі "Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт інфарматыкі і радыёэлектронікі".

**Вобласць ужывання:** распрацаваныя метады і алгарытмы тэкстурнай сегментацыі могуць выкарыстоўвацца для апрацоўкі відарысаў зямной паверхні ў сістэмах відэаназірання паветранага і касмічнага базавання, геаінфармацыйных сістэмах, а таксама ў сістэмах тэхнічнага зроку.

## РЕЗЮМЕ

Альзаки Хайдер Макки Хамид

### **Текстурная сегментация изображений на основе контурных образующих**

**Ключевые слова:** текстурная сегментация изображений, контурные образующие, анализ формы контурных образующих, оценка концентрации контурных образующих, поглощение незначимых контурных образующих, повышение точности выделения границ текстурных областей.

**Цель работы:** развитие методов и разработка алгоритмов сегментации изображений, обеспечивающих повышение точности определения границ текстурных областей за счет учета формы и концентрации образующих их контурных элементов произвольного размера.

**Полученные результаты и их новизна:** разработаны метод и алгоритмы текстурной сегментации изображений на основе анализа формы, оценки концентрации и поглощения незначимых контурных образующих, отличающиеся использованием близко расположенных контурных элементов схожей формы и однотипных равноудаленных контурных элементов для формирования однородных областей, присоединением небольших групп контурных образующих на границах нескольких областей к более крупным областям, что позволило по сравнению с методом на основе энергетических карт уменьшить ошибку определения границ: а) в 2,3 раза – для непериодических текстур за счет анализа формы контурных образующих при увеличении времени обработки в 8 раз; б) в 18 и 98 раз – для периодических (квазипериодических) текстур за счет оценки концентрации и поглощения незначимых контурных образующих при увеличении времени обработки в 20 и 27 раз соответственно. Разработаны программные средства текстурной сегментации на основе контурных образующих, позволяющие оценить ошибки определения границ текстурных областей и сформировать рекомендации по использованию предложенных алгоритмов в различных условиях.

**Степень использования:** результаты диссертационной работы использованы в лабораторном курсе по дисциплине «Обработка, кодирование и передача изображений в телевизионных системах» специальности «Системы, сети и устройства телекоммуникаций» магистратуры в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

**Область применения:** разработанные метод и алгоритмы текстурной сегментации могут использоваться для обработки изображений земной поверхности в системах видеонаблюдения воздушного и космического базирования, геоинформационных системах, а также в системах технического зрения.

## SUMMARY

Alzaki Hayder Makki Hameed

### **Texture images segmentation based on contour forming**

**Keywords:** texture images segmentation, contour forming, analysis of the shape of contour forming, estimation of the concentration of contour forming, the absorption of insignificant contour forming, increasing the accuracy of the delineation of the boundaries of texture regions.

**Aim of the work:** the development of methods and the development of image segmentation algorithms that improve the accuracy of determining the boundaries of texture areas by taking into account the forming and concentration of contour elements of arbitrary size form them.

**Research methods and used facilities:** theory of digital image processing, programming environment Matlab.

**Obtained results and their novelty:** it was developed a method and algorithm for texture images segmentation based on forming analysis, estimation of concentration and absorption of insignificant contour forming, different by the use of closely spaced contour elements of a similar forming and uniformly equidistant contour elements to form homogeneous regions, joining small groups of contour forming at the boundaries of small regions to larger regions, which make it possible, in comparison with the method based on energy maps, to reduce the error in determining the boundaries: a) at 2.3 times for non-periodic textures due to the analysis of the shape of contour forming with an increase in processing time by 8 times; b) at 18 and 98 times for periodic (quasiperiodic) textures due to the evaluation of the concentration and absorption of insignificant contour forming with an increase in processing time of 20 and 27 times, respectively. Software tools for texture segmentation based on contour forming have been developed, which allow estimating the errors in determining the boundaries of texture areas and formulate recommendations on the use of the proposed algorithms under different conditions.

**Use guidelines:** the results of the research were used in the laboratory course on the discipline "Processing, coding and transmission of images in television systems" in the specialty "Systems, networks and telecommunications devices" of the master's program in the educational establishment "Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics".

**Application area:** the developed method and algorithms of texture segmentation can be used for image processing of the earth's surface in video surveillance systems of air and space based systems, geoinformation systems, as well as in technical vision systems.

*Научное издание*

**Альзаки Хайдер Макки Хамид**

**ТЕКСТУРНАЯ СЕГМЕНТАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ  
КОНТУРНЫХ ОБРАЗУЮЩИХ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

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

**по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка  
информации**

Подписано в печать .2018. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».  
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. . Уч. изд. л. . Тираж 60 экз. Заказ .

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

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 1/238 от 24.03.2014,  
№ 2/113 от 07.04.2014, № 3/615 от 07.04.2014.

ЛП № 02330/264 от 14.04.2014.

220013, Минск, П. Бровки, 6