

**МИРОШНИЧЕНКО СЕРГЕЙ ЮРЬЕВИЧ**

**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОБРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ  
АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТЕМАТИЧЕСКИХ  
СЛОЕВ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ**

05.13.01 – Системный анализ, управление и  
обработка информации (технические системы)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Курск – 2009

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Курский государственный технический университет» на кафедре вычислительной техники в совместной научно-исследовательской лаборатории Центра информационных технологий в проектировании РАН и Курского государственного технического университета «Информационные распознающие телекоммуникационные интеллектуальные системы».

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор,  
заслуженный деятель науки РФ  
Титов Виталий Семенович

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор,  
Филист Сергей Александрович

кандидат технических наук, доцент  
Андрианов Дмитрий Евгеньевич

Ведущая организация:

ГОУ ВПО Тульский государственный  
университет,  
г. Тула

Защита диссертации состоится «26» июня 2009г. в 14 часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д212.105.03 при Курском государственном техническом университете по адресу 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94 (конференц-зал).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Курского государственного технического университета по адресу: Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

Автореферат разослан «\_\_\_»\_\_\_\_\_ 2009г.

Размещен на сайте [www.kurskstu.ru](http://www.kurskstu.ru) «\_\_\_»\_\_\_\_\_ 2009г.

Ученый секретарь совета,  
профессор

\_\_\_\_\_ Ф.А. Старков

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Цифровые аэрокосмические изображения земной поверхности наряду с топографическими картами, планами городов, аэронавигационными и морскими картами используются для создания основной составляющей геоинформационных систем (ГИС) – электронных карт, которые являют собой векторные описания пространственных объектов, сгруппированных в тематические слои. Наибольшую ценность аэрокосмические изображения представляют при актуализации электронных карт, поскольку, по сравнению с другими источниками, содержат наиболее точную и оперативную информацию о запечатленном на них участке местности.

Обработка цифровых аэрокосмических изображений находит широкое применение при создании и обновлении электронных карт ГИС, используемых в промышленности для управления инфраструктурой предприятия, решения задач оптимизации маршрутов транспортных перевозок, планирования строительства и экологического мониторинга объектов промышленности. Основным и наиболее трудоемким этапом создания или обновления электронной карты предприятия с помощью аэрокосмических изображений является построение и распределение по тематическим слоям векторных представлений объектов промышленности (векторизация аэрокосмических изображений). Полученный набор тематических слоев представляет собой основу создаваемой карты, которая дополняется необходимой геопространственной и атрибутивной информацией, или же выступает источником данных для добавления недостающих объектов в актуализируемую электронную карту.

Векторизация цифровых аэрокосмических изображений, в большинстве случаев выполняемая операторами-фотограмметристами вручную, заключается в поэлементной «обрисовке» граничных линий промышленных объектов и представляет собой длительный и трудоемкий процесс, требующий значительного количества людских и материальных ресурсов. Автоматическое построение тематических слоев геопространственной информации по аэрокосмическим изображениям объектов промышленности с помощью программных и аппаратно-программных средств, ориентированных на обработку сканированной картографической информации, равно как и создание специализированных средств векторизации сталкиваются с трудностями, обусловленными отсутствием математического описания аэрокосмического изображения, учитывающего его избыточную информативность и неоднородное распределение яркости в пределах содержащихся на нем объектов. Кроме того, существующие средства обработки данных дистанционного зондирования не обеспечивают необходимой точности автоматически создаваемых тематических слоев, требуют длительной предварительной настройки, сопоставимой по временным затратам с ручным созданием электронной карты, и обладают низким быстродействием, обусловленным как размерами исходного изображения (не менее 100 млн. точек), так и сложностью алгоритмов его обработки.

Таким образом, *актуальной научно-технической задачей* является повышение точности и быстродействия средств обработки аэрокосмических изображений объектов промышленности и создания тематических слоев геопространственной информации.

**Цель диссертации:** разработка методов и алгоритмов обработки цифровых аэрокосмических изображений и создание на их основе быстродействующей системы синтеза тематических слоев геопространственной информации, применяемой при решении задачи построения электронных карт промышленных предприятий.

В соответствии с поставленной целью в работе решаются следующие задачи:

1. Сравнительный анализ современных методов и средств цифровой обработки аэрокосмических изображений для создания тематических слоев электронных карт ГИС.
2. Разработка математической модели синтеза тематического слоя объектов промышленности по аэрокосмическому изображению.
3. Создание методов и алгоритма обработки цифровых аэрокосмических изображений.
4. Разработка структурно-функциональной организации быстродействующей системы для формирования векторных представлений объектов промышленности.

**Новыми научными результатами, выносимыми на защиту, являются:**

1. Математическая модель синтеза тематического слоя объектов промышленности по аэрокосмическому изображению, которая позволяет описать процесс формирования векторных представлений объектов, учитывая избыточную информативность аэрокосмического изображения и неоднородное распределение яркости в пределах содержащихся на нем объектов.
2. Методы и алгоритм обработки цифровых аэрокосмических изображений, основанные на выделении и векторном кодировании контуров и позволяющие повысить точность построения тематического слоя объектов промышленности за счет компенсации теней, выделения объектов промышленности с учетом локальных свойств функции яркости изображения и геометрической коррекции их контуров.
3. Структурно-функциональная организация быстродействующей системы для формирования векторных представлений объектов, которая, используя естественный параллелизм операций обработки изображений, позволяет по сравнению с известными аналогами снизить временные затраты на создание тематического слоя объектов промышленности.

**Объект исследований** – цифровые аэрокосмические изображения как источник информации для формирования тематического слоя объектов промышленности.

**Предмет исследований** – методы, алгоритмы обработки цифровых аэрокосмических изображений и быстродействующие системы формирования векторных представлений объектов.

**Методы исследования.** В работе использованы методы цифровой обработки и анализа сигналов и изображений, математического моделирования, теории: вероятностей, систем, параллельных вычислений, алгоритмов, проектирования ЭВМ.

**Практическая ценность** работы состоит в том, что ее результаты являются основой для разработки широкого спектра программных и аппаратно-программных средств, обеспечивающих цифровую обработку аэрокосмических изображений и синтез тематических слоев геопроостранственной информации при минимальном участии оператора и предназначенных для создания электронных карт ГИС промышленного назначения. Разработанные методы и алгоритм также могут применяться при построении тематических слоев городской застройки, дорожной сети и водных ресурсов для универсальных ГИС. Методы выделения и векторного кодирования контуров объектов применяются в медицине при построении систем бесконтактной диагностики заболеваний кровеносной системы человека (способ диагностики защищен патентом РФ №2314026).

**Достоверность** научных результатов, полученных в работе, подтверждается экспериментальными исследованиями.

**Реализация и внедрение.** Методы обработки аэрокосмических изображений, разработанные в рамках диссертационной работы, использованы при создании программных продуктов ООО «Астрософт-Дубна» и ЗАО «Курсктелеком». Результаты диссертационной работы используются в учебном процессе Курского государственного

технического университета в рамках дисциплин «Цифровая обработка и анализ изображений», «Современные проблемы науки и производства» при подготовке магистров по направлению «Информатика и вычислительная техника». Внедрения подтверждены соответствующими актами.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы докладывались и получили положительную оценку на международных и российских конференциях: XL всероссийской конференции по проблемам математики информатики, физики и химии (г. Москва, 2004г.), межрегиональной итоговой научно-технической конференции «Интеллектуальные и информационные системы» (г. Тула, 2004г.), 4-й международной конференции «Телевидение 2005», (г. Санкт-Петербург, 2005г.), VIII международной научно-технической конференции «Медико-экологические информационные технологии 2005» (г. Курск, 2005г.), XXXII и XXXIII межвузовских научно-технических конференциях «Молодежь и XXI век» (г. Курск, 2004-2005гг.), 8-й международной конференции «Распознавание образов и анализ изображений: Новые информационные технологии «РОАИ-8-2007» (г. Йошкар-Ола, 2007г.), 5-й международной конференции по информационным и телекоммуникационным технологиям в интеллектуальных системах (Майорка, 2007г.), IV научно-практической конференции «Перспективы развития систем управления оружием» (г. Курск, 2007г.), 8-й международной конференции «Опτικο-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации «Распознавание - 2008» (г. Курск, 2008г.), 9-й международной конференции «Распознавание образов и анализ изображений: Новые информационные технологии «РОАИ-9-2008» (г. Нижний Новгород, 2008г.), международной научно-технической конференции «Информационно-измерительные, диагностические и управляющие системы «Диагностика – 2009» (г. Курск, 2009 г.), международной научно-технической конференции «Геодезия, картография, кадастр – XXI век» (г. Москва, 2009 г.), а также на научно-технических семинарах кафедры «Вычислительная техника» с 2004 по 2009 гг.

**Награжден** медалью министерства образования и науки РФ «За лучшую научную студенческую работу», медалью Российской академии наук для молодых ученых РАН, других учреждений, организаций России и для студентов высших учебных заведений России за работу «Разработка математической модели и создание автоматизированного аппаратно-программного комплекса для сегментации аэрокосмических изображений».

**Публикации.** Основные результаты диссертации отражены в 22 печатных работах. Среди них 7 статей, опубликованных в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень журналов и изданий, рекомендованных ВАК, 1 патент на изобретение, 1 свидетельство о регистрации программ для ЭВМ.

**Личный вклад автора.** В работах, опубликованных в соавторстве, лично соискателем предложены: в [4,5,8,11,15,17] – математическая модель синтеза тематического слоя объектов промышленности на основе аэрокосмического изображения, в [2,7,10,12,16,21] – методы и алгоритм цифровой обработки аэрокосмических изображений, в [1,3,6,9] – структура и принципы функционирования быстродействующей системы для формирования векторных представлений объектов.

**Объем и структура работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и приложений. Работа содержит 150 страниц основного текста, в том числе 53 рисунка, 5 таблиц, список использованных источников из 87 наименований, и 2 приложения.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность, сформулированы цель и задачи исследования, представлены научная новизна и практическая ценность работы.

**В первой главе** проведен сравнительный анализ методов и современных средств цифровой обработки аэрокосмических изображений для создания тематических слоев электронных карт ГИС. Выделены основные группы методов обработки аэрокосмических изображений, проведен сравнительный анализ методов каждой из групп. Показано, что наиболее перспективными методами синтеза тематического слоя объектов промышленности, представляющими рациональное соотношение точности, автономности (количества настраиваемых входных параметров) и быстродействия, являются контурные методы. Рассмотренные программные системы для векторизации сканированной картографической информации и обработки данных дистанционного зондирования не обеспечивают необходимой точности построения тематического слоя объектов промышленности и требуют длительной предварительной настройки. Сделан вывод о необходимости разработки метода и алгоритма синтеза тематического слоя объектов промышленности по аэрокосмическому изображению, основанного на построении контуров объектов.

**Во второй главе** разработана математическая модель синтеза тематического слоя объектов промышленности по аэрокосмическому изображению, которая позволяет описать процесс построения векторных представлений объектов целевого тематического слоя на основе исходного изображения, учитывая его избыточную информативность и неоднородное распределение яркости в пределах содержащихся на нем объектов.

Математическая модель  $M_T$  синтеза тематического слоя объектов промышленности состоит из модели  $M_I$  аэрокосмического изображения и модели  $M_V$  процесса формирования векторных представлений объектов, основанной на  $M_I$  и описывающей локализацию и векторизацию объектов по исходному изображению

$$M_T = M_V(M_I). \quad (1)$$

Математическая модель  $M_I$  аэрокосмического изображения включает четыре компонента, используемых при преобразовании исходного аэрокосмического изображения во множество векторных контуров

$$M_I = \left[ M_b^{(I)}(M_f^{(I)}), M_l^{(I)}(M_f^{(I)}), M_s^{(I)}(M_f^{(I)}) \right], \quad (2)$$

где  $M_b^{(I)}$  – модель изображения объекта промышленности;  $M_f^{(I)}$  – модель представления аэрокосмического изображения как случайного двумерного поля яркостей;  $M_l^{(I)}$  – модель формирования теней на аэрокосмическом изображении;  $M_s^{(I)}$  – модель изображения тени.

В рамках модели  $M_f^{(I)}$  исходное аэрокосмическое изображение  $I$  представлено как непрерывное двумерное случайное поле яркости

$$M_f^{(I)} = F_I(I, x, y), \quad I = f(x, y), \quad x \in [1, K], y \in [1, N], \quad (3)$$

где  $x, y$  – координаты отсчета яркости;  $K, N$  – размеры исходного изображения.

Модель  $M_b^{(I)}$  позволяет описать промышленный объект на аэрокосмическом изображении как область  $S_i$ , обладающую рядом свойств, которые применяются для локализации объекта, векторного кодирования его контуров и коррекции формы

$$M_b^{(I)} = F_b(S, I), S = \{S_i\}_{i=1, \overline{N_s}}, S_i = s_i(x, y), S_i \in I. \quad (4)$$

В рамках математической модели  $M_l^{(I)}$  показано, что положения теней относительно отбрасывающих их объектов на аэрокосмическом изображении  $I$  определяются азимутом Солнца  $\alpha_{\oplus}$  и не зависят от разности азимутов Солнца  $\Delta\alpha_{\oplus}$  на краях изображения. Сделан вывод о том, что величиной  $\Delta\alpha_{\oplus}$  можно пренебречь при определении азимута Солнца на основе оценочных положений теней объектов. Таким образом

$$M_l^{(I)} = F_l(I, I_{nl}, \alpha_{\oplus}), I = f_{\oplus}(I_{nl}, \alpha_{\oplus}), \quad (5)$$

где  $I_{nl}$  – аэрокосмическое изображение, не содержащее теней объектов.

Математическая модель  $M_s^{(I)}$  описывает свойства теней  $S_i^{(s)}$  искусственных и природных объектов

$$M_s^{(I)} = F_s(S^{(s)}, I), S^{(s)} = \{S_i^{(s)}\}_{i=1, \overline{N_s^{(s)}}}, S_i^{(s)} = s_i^{(s)}(x, y), S_i^{(s)} \in I. \quad (6)$$

В рамках  $M_s^{(I)}$  показано, что для объектов обоих классов характерным признаком наличия тени является перепад яркости на границе тени с фоном.

Модель  $M_v$  представляет математическое описание преобразования исходного аэрокосмического изображения  $I$  в тематический слой объектов промышленности  $V$

$$M_v = F_v(V, I), \quad (7)$$

Каждый элемент  $v_i$  тематического слоя  $V$  представляет контурное описание отдельного объекта промышленности и состоит из замкнутой линии  $\Gamma_i^{(r)}$ , описывающей контур крыши здания, и множества  $\Gamma_i^{(h)}$ , элементы  $\Gamma_{ij}^{(h)}$  которого представляют некоторые детали крыши объекта

$$v_i = \langle \Gamma_i^{(r)}, \Gamma_i^{(h)} \rangle. \quad (8)$$

Математическая модель  $M_v$  представлена выражением

$$M_v = M_{gc}^{(v)} \left[ M_{bi}^{(v)} \left( M_{eb}^{(v)} \left( M_{sc}^{(v)} \right) \right) \right], \quad (9)$$

где  $M_{gc}^{(v)}$  – математическая модель геометрической коррекции и приведения к фундаменту контуров объектов промышленности;  $M_{bi}^{(v)}$  – математическая модель идентификации контурных представлений объектов промышленности;  $M_{eb}^{(v)}$  – математическая модель построения контуров объектов;  $M_{sc}^{(v)}$  – математическая модель компенсации теней объектов.

Математическая модель  $M_{sc}^{(v)}$  компенсации теней объектов основана на моделях  $M_l^{(I)}$ ,  $M_s^{(I)}$  и описана функцией

$$M_{sc}^{(v)} = F_{sc}(I_{sc}, I), \text{ где } I_{sc} = f_{sc}(C^{(s)}, G_{sc}, I), C^{(s)} = f_{sl}(G_{sc}, I), G_{sc} = f_{sa}(I), \quad (10)$$

$I_{sc}$  – изображение с компенсированными тенями объектов;  $f_{sc}(\bullet)$  – функция яркостной компенсации теней;  $C^{(s)} = \{C_i^{(s)}\}_{i=1, \overline{N_C^{(s)}}}$  – множество кластеров, каждый из которых описывает положение и форму тени;  $G_{sc}$  – дифференциальное изображение, на котором локальные максимумы соответствуют границам теней объектов с фоном;  $f_{sl}(\bullet)$  – функция

локализации теней;  $f_{sa}(\bullet)$  – функция вычисления азимута Солнца и оценки положения теней.

Для оценки положения теней объектов исходное аэрокосмическое изображение  $I$  подвергается свертке с дифференциальной функцией Гаусса  $G_{\sigma}^{(s)}(\bullet)$ , ориентированной под углом  $\alpha_{\oplus}$  к нулевому азимуту, в результате чего формируется дифференциальное изображение  $G_{sc}$

$$G_{sc} = g_{sc}(x, y, \alpha_{\oplus}) = \int_1^N \int_1^K G_{\sigma}^{(s)}(x^{(i)} - x, y^{(i)} - y, \alpha_{\oplus}) \cdot f(x^{(i)}, y^{(i)}) dx^{(i)} dy^{(i)}, \quad (11)$$

где

$$G_{\sigma}^{(s)}(x, y, \alpha_{\oplus}) = \frac{-1}{2\pi\sigma_s^4} \left[ x \sin\left(\alpha_{\oplus} - \frac{\pi}{2}\right) - y \cos\left(\alpha_{\oplus} - \frac{\pi}{2}\right) \right] \cdot e^{\frac{1}{2\sigma_s^2} \left[ x \sin\left(\alpha_{\oplus} - \frac{\pi}{2}\right) - y \cos\left(\alpha_{\oplus} - \frac{\pi}{2}\right) \right]^2}, \quad (12)$$

$\sigma_s$  – параметр, определяющий протяженность перепада функции яркости, производящего наибольший по модулю отклик функции (12).

Азимут Солнца  $\alpha_{\oplus}$  определяется как аргумент максимального интегрального отклика  $R^{(s)}(\varphi)$  функции (12) по всему аэрокосмическому изображению в диапазоне  $[0, 2\pi]$

$$\alpha_{\oplus} = \arg \left[ \max_{\varphi \in [0, 2\pi]} (R^{(s)}(\varphi)) \right], R^{(s)}(\varphi) = \int_1^N \int_1^K g_{sc}(x, y, \varphi) dx dy. \quad (13)$$

Кластерная функция  $f_{sl}(\bullet)$  в качестве признака использует яркостное расстояние  $d_C^{(s)}(\bullet)$  добавляемой области от текущего среднего значения яркости кластера  $C_i^{(s)}$ . Начальное положение и форма кластеров  $C_i^{(s)}$  определяются исходя из оценочных положений теней на дифференциальном изображении  $G_{sc}$ .

Для того чтобы кластер  $C_i^{(s)}$  принял форму тени  $S_i^{(s)}$ , производится его наращивание за счет областей изображения  $S_{ij}^{(s|C)}$ , непосредственно прилегающих к границе кластера

$$C_i^{(s)} = C_i^{(s)} \cup S_{ij}^{(s|C)} : d_C^{(s)}(S_{ij}^{(s|C)}) < T_i^{(C)}, \quad (14)$$

где  $T_i^{(C)}$  – максимальное яркостное расстояние области  $S_{ij}^{(s|C)}$  от кластера  $C_i^{(s)}$ .

Яркостная компенсация теней объектов выполняется следующим образом

$$I_{sc} = f_{sc}(I) = f(x, y) + K_i^{(s)}, \langle x, y \rangle \in C_i^{(s)}, \quad (15)$$

где  $K_i^{(s)}$  – величина яркостной коррекции.

Математическая модель  $M_{eb}^{(v)}$  построения контуров объектов описана функцией  $M_{eb}^{(v)} = F_{eb}(E, I_{sc})$ , где  $E = f_{et}(\bar{E}, B)$ ,  $\bar{E} = f_{ee}(B)$ ,  $B = f_{eth}(\bar{G})$ ,  $\bar{G} = f_{es}(G)$ ,  $G = f_{ed}(I_{sc})$ ,  $E$  – множество контуров, каждый из которых представляет отдельный объект;  $f_{et}(\bullet)$  – функция трассировки контуров;  $\bar{E}$  – множество линейных контуров;  $B$  – бинарная карта модулей градиента;  $f_{ee}(\bullet)$  – функция кодирования контурных линий векторами;  $f_{eth}(\bullet)$  – функция бинаризации;  $\bar{G}$  – карта векторов градиента с односвязными представлениями



контуров;  $f_{es}(\bullet)$  – функция утончения контурных линий;  $G$  – карта векторов градиента;  $f_{ed}(\bullet)$  – функция выделения контуров объектов.

Выделение контуров объектов  $f_{ed}(\bullet)$  производится с помощью частных производных функции Гаусса вдоль осей координат

$$\frac{\delta G_{\sigma}^{(e)}(x, y, \sigma_e)}{\delta x} = \frac{-x}{2\pi\sigma_e^4} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma_e^2}}, \quad \frac{\delta G_{\sigma}^{(e)}(x, y, \sigma_e)}{\delta y} = \frac{-y}{2\pi\sigma_e^4} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma_e^2}}. \quad (17)$$

где  $\sigma_e$  – масштабный параметр функции Гаусса, вычисляемый в каждой точке изображения исходя из локальных свойств функции яркости.

Функции (17) в результате свертки с изображением  $I_{sc}$  позволяют вычислить величины перепадов яркости в горизонтальном  $g_x^{(e)}(x, y)$  и вертикальном  $g_y^{(e)}(x, y)$  направлениях.

Тогда карты модулей и направлений градиента, описывающие положения контуров объектов на исходном изображении, определяются как

$$G = \langle g(x, y), v(x, y) \rangle = f_{ed}(I_{sc}) = \left\langle \sqrt{[g_x^{(e)}(x, y)]^2 + [g_y^{(e)}(x, y)]^2}, \arctg \left[ \frac{g_y^{(e)}(x, y)}{g_x^{(e)}(x, y)} \right] \right\rangle. \quad (18)$$

Функция утончения контурных линий  $f_{es}(\bullet)$ , обеспечивающая возможность применения функции векторного кодирования  $f_{ee}(\bullet)$ , выполняет создание односвязных представлений контуров

$$\bar{G} = \bar{g}(x, y) = f_{es}[g(x, y)] = \begin{cases} 0, & g(x^{\pm}, y^{\pm}) > g(x, y) \\ g(x, y), & \text{в противном случае} \end{cases}, \quad (19)$$

где  $\langle x^{\pm}, y^{\pm} \rangle$  – координаты опорных точек, находящихся на прямой, ортогональной касательной к контурной линии в данной точке.

Функция бинаризации  $f_{eth}(\bullet)$ , обеспечивающая разделение точек изображения на точки контуров и точки однородных областей, декомпозирована на функцию первичной бинаризации  $f_{eth}^{(1)}(\bullet)$  и рекуррентную функцию вторичной бинаризации  $f_{eth}^{(i)}(\bullet)$ ,  $i = \overline{2, n}$

$$B = f_{eth}(\bar{G}) = f_{eth}^{(n)} \left[ f_{eth}^{(n-1)} \left( \dots f_{eth}^{(2)} \left( f_{eth}^{(1)}(\bar{G}), \bar{G} \right), \bar{G} \right), \bar{G} \right]. \quad (20)$$

Функция первичной бинаризации  $f_{eth}^{(1)}(\bullet)$ , используя локальное значение параметра  $\sigma_e$ , отражающего четкость контура в данной точке, выполняет добавление в бинарную карту первого приближения контурных линий, форма перепада яркости которых близка к пороговой. Функция вторичной бинаризации  $f_{eth}^{(i)}(\bullet)$  дополняет бинарную карту первого приближения точками размытых контуров для минимизации количества разрывов контурных линий.

Векторное кодирование  $f_{ee}(\bullet)$  контурных линий объектов выполняется за один проход по бинарному изображению  $B$ . На основе анализа окрестности текущей точки, соответствующий ей вектор добавляется к предшествующему данной точке контуру, а также, при необходимости, выполняется создание одного или нескольких новых контуров. В результате применения функции  $f_{ee}(\bullet)$  строится множество  $\bar{E}$ , каждый элемент которого представляет собой линейный векторный контур.

По окончании векторного кодирования применяется функция трассировки  $f_{et}(\bullet)$ , выполняющая восстановление возможных разрывов линейных контуров множества  $\bar{E}$  и их группировку в контуры  $e_i$ , каждый из которых представляет объект на аэрокосмическом изображении

$$E = \{e_i\}_{i=1, \overline{N_E}}, e_i = \langle \Gamma_i^{(e)}, \Gamma_i^{(h)} \rangle, \Gamma_i^{(e)} = \langle \overline{e_{ij}} \rangle_{j=1, \overline{N_i^{(e)}}}, \Gamma_i^{(h)} = \left\{ \overline{e_{ij}^{(h)}} \right\}_{j=1, \overline{N_i^{(o)}}}, \quad (21)$$

где  $\Gamma_i^{(e)}$  – замкнутая последовательность линейных контуров, ограничивающая объект;  $\Gamma_i^{(h)}$  – множество линейных контуров, отражающих детали его внутренней структуры.

Математическая модель  $M_{bi}^{(v)}$  идентификации контурных представлений объектов промышленности описана функцией

$$M_{bi}^{(v)} = F_{bi}(V_b, E), V_b = \left\{ v_j^{(b)} \right\}_{j=1, \overline{N_{V_b}}} = V_b \cup \left\{ e_i : K_i^{(f)} < T_K^{(f)} \right\}_{i=1, \overline{N_E}}, \quad (22)$$

где  $K_i^{(f)}$  – коэффициент, отражающий степень соответствия граничной линии  $\Gamma_i^{(e)}$  форме объекта промышленности;  $T_K^{(f)}$  – эмпирически определяемое предельное значение коэффициента  $K_i^{(f)}$ .

Математическая модель  $M_{gc}^{(v)}$  геометрической коррекции и приведения к фундаменту контуров объектов промышленности представлена функцией

$$M_{gc}^{(v)} = F_{gc}(V, V_b), v_i = \Gamma_i^{(r)} = \left\langle a_i^{(v)}, \left\langle \gamma_{ik}^{(v)} \right\rangle_{k=1, \overline{N_j^{(v)}}} \right\rangle, \quad (23)$$

где  $\Gamma_i^{(r)}$  – граничная линия крыши объекта промышленности, которая строится на основе линейных контуров линии  $\Gamma_i^{(e)}$  и множества  $\Gamma_i^{(h)}$  и обладает наименьшим значением коэффициента формы  $K_i^{(f)}$ ;  $a_i^{(v)}$  – координата начала линии  $\Gamma_i^{(e)}$  в пределах исходного изображения с учетом ее приведения к фундаменту объекта;  $\gamma_{ik}^{(v)}$  – последовательность векторов, составляющих линию  $\Gamma_i^{(r)}$ .

Выражения (2-6, 9-10, 16, 22, 23) путем подстановки в формулу (1) позволяют сформировать обобщенное представление математической модели  $M_T$ .

**В третьей главе** рассмотрены методы и алгоритм обработки цифровых аэрокосмических изображений, созданные на основе разработанной математической модели.

Основываясь на математической модели  $M_v$  (9) создан обобщенный алгоритм формирования векторных представлений объектов промышленности:

1. Компенсация теней объектов (15) на аэрокосмическом изображении, позволяющая устранить ложные контуры, образующиеся на границах теней с фоном.

2. Построение контуров объектов (16), обеспечивающее формирование векторных контурных представлений всех объектов, содержащихся на аэрокосмическом изображении.

3. Идентификация контурных представлений объектов промышленности (22), позволяющая из общего контурного описания изображения выделить объекты, относящиеся к тематическому слою объектов промышленности, а также геометрическая коррекция и приведение промышленного объекта к фундаменту (23), нацеленная

компенсацию искажений формы объекта, вызванных неортогональностью оптической оси датчика изображения к земной поверхности при съемке.

Используя представленный алгоритм, созданы три метода цифровой обработки аэрокосмических изображений, основанные на компонентах математической модели  $M_V$ .

При цифровой обработке аэрокосмическое изображение  $I$  (3) представляет собой дискретное двумерное случайное поле яркости. Значение яркости любой точки в его пределах является дискретной величиной и принимает целочисленные неотрицательные значения в диапазоне  $[0, f_{\max}^{(d)}]$ .

Дискретное представление изображений позволяет заменить производные функции Гаусса (12) и (17) дискретными аппроксимациями, рассчитываемыми до выполнения свертки и обеспечивающими повышение быстродействия операции свертки, т.к. не требуют вычисления значения функций (12) или (17) в каждой точке изображения. Дискретные аппроксимации представляют собой фильтры с конечной импульсной характеристикой, которые описываются квадратными матрицами вещественных коэффициентов (масками свертки).

*Метод локализации и компенсации теней объектов.* Используя дискретное представление аэрокосмического изображения, метод позволяет заменить функцию (12) дискретной аппроксимацией  $G_{\sigma}^{(\alpha_{\oplus})}$ , имеющей форму окружности с центром в начале координат и радиусом  $N_G$ , вписанной в классическую маску свертки путем ограничения области определения (12). Нестандартная форма аппроксимации функции (12) обусловлена необходимостью обеспечить ее корректное построение для любого значения угла  $\alpha_{\oplus}$  при вычислении интегральных откликов (13).

Для обеспечения возможности сравнения откликов фильтра при определении максимума (13) сумма модулей элементов матрицы  $G_{\sigma}^{(\alpha_{\oplus})}$  при различных значениях угла  $\alpha_{\oplus}$  должна различаться не более чем на 0.5%, что обеспечивается расчетом элемента  $g_{ij}^{(\alpha_{\oplus})}$  маски  $G_{\sigma}^{(\alpha_{\oplus})}$  не только в соответствующем узле дискретной сетки, но и по квадратной области  $[i \pm 0.5, j \pm 0.5]$  с центром в данном узле и шагом  $1/2N_h$  в каждом измерении

$$g_{ij}^{(\alpha_{\oplus})} = \frac{1}{(2N_h + 1)^2} \sum_{n=-N_h}^{N_h} \sum_{m=-N_h}^{N_h} G_{\sigma}^{(s)} \left( i + \frac{m}{2N_h}, j + \frac{n}{2N_h}, \alpha_{\oplus} \right). \quad (24)$$

Тогда дифференциальное изображение  $G_{sc}$  формируется с помощью

$$G_{sc} = g_{sc} \left( x^{(d)}, y^{(d)} \right) = \sum_{i=-N_G}^{N_G} \sum_{j=-N_G}^{N_G} g_{ij}^{(\alpha_{\oplus})} \cdot f^{(d)} \left( x^{(d)} + i, y^{(d)} + j \right). \quad (25)$$

Построение множества кластеров  $C^{(s)}$ , описывающих положения теней объектов, и их яркостная компенсация выполняются с помощью функций (14) и (15), соответственно. Область  $S_{ij}^{(sC)}$  в формуле (14) представляет собой точку изображения, расположенную на границе кластера  $C_i^{(s)}$ . Компенсация теней объектов производится согласно формуле (15), где коэффициент яркостной коррекции  $K_i^{(s)}$  определен как разность средней яркости тени, представляемой кластером  $C_i^{(s)}$ , и средней яркости фона в ее окрестности.

*Метод построения контуров объектов.* При выделении контуров объектов при помощи свертки изображения  $I_{sc}$  с частичными производными функции Гаусса (17)

значение параметра  $\sigma_e = \sigma_{\min}^{(e)}(x^{(d)}, y^{(d)})$  определяется в каждой точке изображения исходя из локальных свойств функции яркости

$$\sigma_{\min}^{(e)}(x^{(d)}, y^{(d)}) = \arg \left[ g(x^{(d)}, y^{(d)}, \sigma_e) - c_1(\sigma_e) = 0 \right], \quad c_1(\sigma_e) = \frac{\sqrt{-\ln(\alpha_p)}}{2\sqrt{\pi}} \cdot \frac{\sigma_n}{\sigma_e^2}, \quad (26)$$

где  $g(x^{(d)}, y^{(d)}, \sigma_e)$  – значение модуля градиента, полученное с помощью функций (18) при определенном значении параметра  $\sigma_e$ ;  $\sigma_n$  – среднее квадратическое отклонение шума, присутствующего на изображении;  $\alpha_p = 0.05/(K \cdot N)$  – вероятность ошибки выделения контуров в расчете на каждую точку.

Для численного решения уравнения (26) значение  $\sigma_e$  ограничено диапазоном  $[0.1, 8]$ , в пределах которого установлен набор опорных узлов  $\sigma_j^{(e)}$  с переменным шагом

$$\sigma_{j+1}^{(e)} = \sigma_j^{(e)} + \varepsilon \cdot 2^{(\sigma_j^{(e)} - 4)}, \quad \sigma_0^{(e)} = 0.1, \quad (27)$$

где  $\varepsilon$  – требуемая точность решения уравнения (26).

Дискретная сетка масок  $\mathbf{G}_j^{(x)} = \|g_{jkl}^{(x)}\|$ ,  $\mathbf{G}_j^{(y)} = \|g_{jkl}^{(y)}\|$  функций (17) для определенного узла  $\sigma_j^{(e)}$  растянута с помощью масштабного коэффициента, равного значению данного узла, что позволяет избежать снижения точности аппроксимации (17) при  $\sigma_j^{(e)} < 1$

$$g_{jkl}^{(x)} = \frac{-k}{2\pi(\sigma_j^{(e)})^3} e^{-\frac{(k+l)^2}{2}}, \quad g_{jkl}^{(y)} = \frac{-l}{2\pi(\sigma_j^{(e)})^3} e^{-\frac{(k+l)^2}{2}}. \quad (28)$$

Несоответствие узлов дискретной сетки изображения и масок  $\mathbf{G}_j^{(x)}, \mathbf{G}_j^{(y)}$  компенсировано введением соответствующего коэффициента в операцию свертки

$$g_{x,y}^{(e)}(x^{(d)}, y^{(d)}) = \sum_{l=-4}^4 \sum_{k=-4}^4 g_{jkl}^{(x,y)} \cdot f_{sc}(x^{(d)} + k\sigma_j^{(e)}, y^{(d)} + l\sigma_j^{(e)}), \quad (29)$$

Утончение контурных линий объектов на карте модулей градиента  $g(x^{(d)}, y^{(d)})$  выполняется с помощью функции (19), бинаризация карты модулей градиента выполняется согласно функции (20) математической модели  $M_{eb}^{(v)}$  построения контуров объектов.

При векторном кодировании контуров объектов выполняется проход по бинарной карте моделей градиента в поисках точек контуров. Для каждой найденной точки выполняется анализ ее восьмисвязной окрестности, в результате которого определяется количество и расположение предшествующих (расположенных выше или левее) и последующих точек контуров (находящихся ниже или правее). При наличии предшествующих точек, к каждому из соответствующих линейных контуров добавляется вектор, определяемый как разность координат текущей и предшествующей точки. Если текущая точка не имеет предшествующих, или общее количество предшествующих и последующих точек более двух, производится создание новых контуров, количество которых определяется числом последующих точек.

Восстановление разрывов, выполняемое в рамках построения контуров, проводится в три этапа:

1. Поиск во множестве  $\bar{E}$  фрагментов контуров, образовавшихся в результате появления разрыва.

2. Для каждого найденного фрагмента выполняется подбор кандидатов на объединение. Полученное множество пар фрагментов ранжируется, используя расстояние между точками разрыва фрагментов угол между касательными к концевым участкам контуров в области разрыва.

3. Для каждой из пар, выбираемых в порядке невозрастания ранга, выполняется попытка восстановления потерянного фрагмента, используя модуль и направление градиента. Если восстановление потерянного фрагмента для текущей пары невозможно, выполняется переход к следующей.

Группировка линейных контуров множества  $\bar{E}$  в контурные представления объектов (21) основана на построении замкнутых контурных последовательной  $\Gamma_i^{(e)}$ , описывающих границы объектов на аэрокосмическом изображении. Последовательность  $\Gamma_i^{(e)}$  строится с соблюдением критериев минимума разности направлений между составляющими ее линейными контурами и наименьшей разности функции яркости в области их общей концевой точки. Множество линейных контуров  $\Gamma_i^{(h)}$ , отражающих детали его внутренней структуры, создается из элементов  $\bar{E}$ , расположенных внутри последовательности  $\Gamma_i^{(e)}$ .

*Метод идентификации контурных представлений, геометрической коррекции и приведения к фундаменту объектов промышленности.* При идентификации контурных представлений (22) объектов промышленности согласно математической модели  $M_{bi}^{(v)}$  в результирующее множество  $V_b$  включаются лишь те контурные представления объектов  $e_i$ , форма граничных линий  $\Gamma_i^{(e)}$  которых соответствует эталонной форме объекта промышленности. Проверка соответствия основана на вычислении коэффициента формы  $K_i^{(f)}$

$$K_i^{(f)} = \sum_{l=1}^{N_{M^{(p)}}} \left( \frac{|m_{il}^{(\varphi)} - m_{il-1}^{(\varphi)}| \cdot |m_{il+1}^{(\varphi)} - m_{il}^{(\varphi)}|}{2P_i^{(\Gamma)}} \cdot \left| \frac{2\alpha(m_{il}^{(\varphi)})}{\pi} - 1 \right| \right), \quad (30)$$

где  $\{m_{il}^{(\varphi)}\}$  – координаты углов линии  $\Gamma_i^{(e)}$ , образующих форму объекта;  $P_i^{(\Gamma)}$  – периметр контура  $\Gamma_i^{(e)}$ .

Геометрическая коррекция формы (23) согласно математической модели  $M_{gc}^{(v)}$  заключается построении граничной линии крыши объекта  $\Gamma_i^{(r)}$  из линейных контуров последовательности  $\Gamma_i^{(e)}$  и элементов множества  $\Gamma_i^{(h)}$ . Критерием, используемым при построении  $\Gamma_i^{(r)}$ , является минимальное значение коэффициента формы (30). Приведение к фундаменту линии  $\Gamma_i^{(r)}$  выполняется путем ее совмещения с участком линии  $\Gamma_i^{(e)}$ , не вошедшей в  $\Gamma_i^{(r)}$ .

**В четвертой главе** представлены результаты моделирования разработанных методов. Приведена структура быстродействующей системы для формирования векторных представлений объектов.

При моделировании разработанного алгоритма использовано 20 аэрокосмических изображений размером 100 и 400 млн. точек и разрешением от 0.3 до 20 метров на точку. Результаты моделирования разработанных методов сравнивались с существующими аналогами, основанными на построении кластеров методом  $k$ -средних, построении контуров объектов с помощью оператора Канни и нейронной сети с парадигмой «многослойный персептрон» (локализация объектов выполнялась с помощью оператора Собела). Оценка результатов моделирования проводилась с помощью критериев:

1. Количество правильно идентифицированных объектов промышленности (в процентах от общего числа объектов данного типа на изображении).

2. Количество ложных объектов промышленности (в процентах от общего числа истинных объектов данного типа)

3. Среднее отклонение положений векторных представлений объектов промышленности от истинных позиций на аэрокосмическом изображении (в процентах относительно среднего размера объекта промышленности).

Оценки результатов моделирования разработанных методов в сравнении с известными аналогами приведены в табл. 1.

Таблица 1 – результаты моделирования алгоритмов

Номер критерия	Алгоритмы			
	Кластерный алгоритм	Контурный алгоритм	Нейросетевой алгоритм	Разработанный алгоритм
1	64,5%	57,9%	76,4%	92,1%
2	10,1%	13,7%	5,3%	1,8%
3	7,9%	2,5%	6,2%	1,9%

Как видно из табл. 1 разработанные методы по сравнению с аналогами обеспечивают на 15% большее число правильно идентифицированных и в 3 раза меньшее количество ложных объектов промышленности, а также на 25% меньшее отклонение положений векторных представлений объектов промышленности от истинных позиций.

Анализ результатов моделирования показал, что разработанные методы требуют больших временных затрат на создание тематического слоя объектов промышленности по сравнению с аналогами. Для снижения временных затрат разработана быстродействующая система для формирования векторных представлений объектов, содержащая процессорный модуль, состоящий из управляющего процессора и блока операций с векторными контурами, контроллер ЗУ, ОЗУ, первый графический модуль, состоящий из первого графического процессора и первой буферной памяти, второй графический модуль, состоящий из второго графического процессора и второй буферной памяти, третий графический модуль, состоящий из третьего графического процессора и третьей буферной памяти, контроллер ввода-вывода изображения, внешнее ЗУ, информационный интерфейс. Структурно-функциональная организация системы представлена на рис. 1.

За счет введения трех графических модулей система обеспечивает одновременное вычисление свертки аэрокосмического изображения с дискретными аппроксимациями функций (9) и (15) в 720 точках. Система также обеспечивает конвейерный режим работы, позволяющий параллельно исполнять этапы обработки нескольких аэрокосмических изображений (подавление теней на текущем изображении и векторное кодирование предыдущего). Введение большего количества модулей ограничено архитектурными особенностями современных средств вычислительной техники.

Процессорный модуль реализован на базе процессора AMD Phenom X4 9850, причем первое ядро выполняет функции управляющего процессора, а другие три ядра – функции блока векторизации. Графические модули реализованы на трех графических

ускорителях nVidia GeForce GTX280, объединенных с использованием технологии nVidia SLI, с программной реализацией разработанного алгоритма под платформу nVidia CUDA.

Характеристики быстродействия разработанной системы по сравнению с аналогами приведены в табл. 2.

Таблица 2 – характеристики быстродействия разработанной системы

Размер изображения, млн. точек	Быстродействие, мин			
	Intel Core 2 Quad Q6600 (2,4 ГГц)	2xIntel Xeon E5440 (2,83 ГГц)	Разработанная система (последовательный режим)	Разработанная система (конвейерный режим)
100	198	89	11	9
400	1112	501	48	41

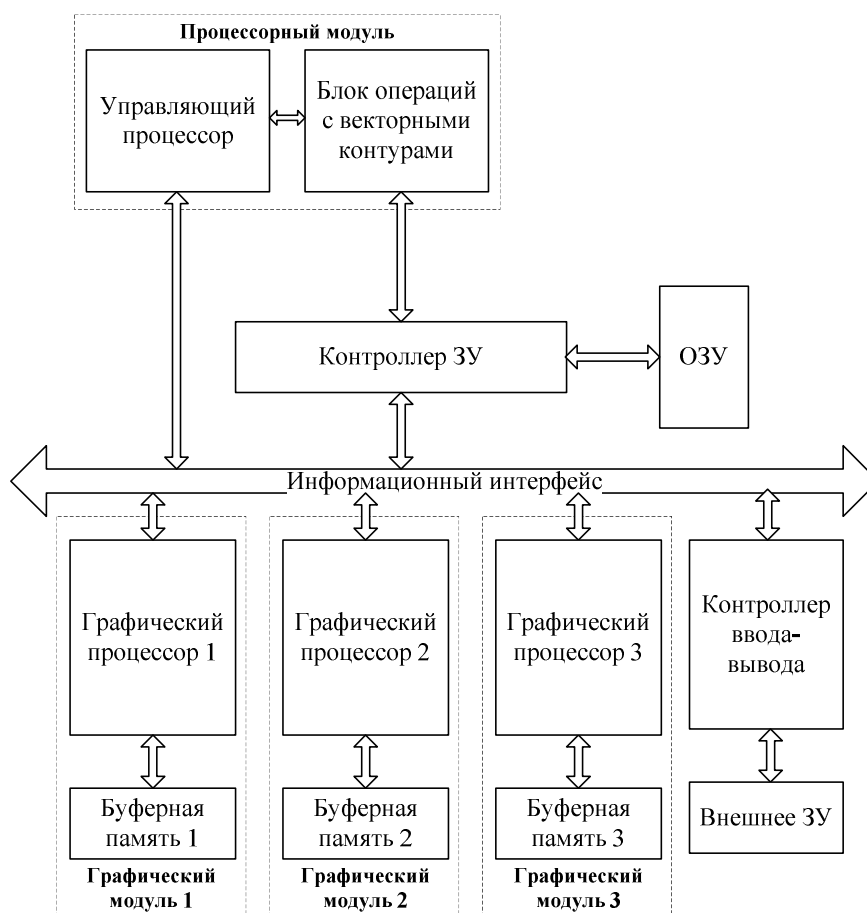


Рис. 1. Структура быстродействующей системы для формирования векторных представлений объектов

Из табл. 2 видно, что разработанная система обеспечивает в 8 раз меньшие временные затраты на построение тематического слоя объектов по сравнению с известными аналогами. Конвейерный режим функционирования разработанной системы позволяет на 15% снизить временные затраты по сравнению с последовательным режимом.

**В заключении** сформулированы основные результаты диссертационной работы.

**В приложениях** приведены граф-схемы разработанного алгоритма, акты о внедрении.

## **ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ**

При решении поставленной в диссертационной работе задачи были получены следующие результаты.

1. По результатам анализа существующих методов и средств цифровой обработки аэрокосмических изображений для создания тематических слоев электронных карт ГИС разработана математическая модель синтеза тематического слоя объектов промышленности по аэрокосмическому изображению, основанная на математическом представлении изображения и позволяющая описать процесс формирования векторных представлений объектов с учетом его избыточной информативности и неоднородного распределения яркости в пределах содержащихся на нем объектов.

2. Разработаны методы и алгоритм обработки цифровых аэрокосмических изображений, основанные на выделении и векторном кодировании контуров объектов и позволяющие повысить точность построения тематического слоя объектов промышленности за счет компенсации теней объектов, выделения объектов промышленности с учетом локальных свойств функции яркости изображения и геометрической коррекции их контуров.

3. Разработана структурно-функциональная организация быстродействующей системы для формирования векторных представлений объектов, которая отличается введением трех графических модулей и, используя естественный параллелизм операций обработки изображений, обеспечивает, по сравнению с известными аналогами, снижение временных затрат на создание тематического слоя объектов промышленности.

4. Сравнительный анализ разработанных методов и системы для формирования векторных представлений объектов с известными аналогами показал, что разработанные методы обладают на 15% большей точностью идентификации объектов промышленности и на 25% меньшим отклонением получаемых контурных представлений объектов от их истинной позиции, а также создают в 3 раза меньшее число ложных объектов. Разработанная система обеспечивает в 8 раз меньшие временные затраты на синтез тематического слоя объектов промышленности по аэрокосмическому изображению.

## **СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Статьи в журналах, входящих в перечень ВАК РФ**

1. Мирошниченко, С.Ю. Параллельно-конвейерное устройство для векторизации аэрокосмических изображений земной поверхности [Текст] / С.Ю. Мирошниченко, В.С. Титов // Изв. ВУЗов. Приборостроение. 2009. – Т. 52, №2. – С. 45-51.
2. Мирошниченко, С.Ю. Расчет дискретных аппроксимаций низкочастотного фильтра Тихонова для обработки изображений [Текст] / С.В. Дегтярев, С.Ю. Мирошниченко, Ю.П. Стеценко // Известия ТулГТУ. Серия. Вычислительная техника. Информационные технологии. Системы управления. Вып. 1. Вычислительная техника. – Тула: Изд-во ТулГТУ, 2006. – С.58-63.
3. Мирошниченко, С.Ю. Программная оптимизация оператора Собела с использованием SIMD-расширений процессоров семейства x86 [Текст] / Э.И. Ватутин, С.Ю. Мирошниченко, В.С. Титов // Телекоммуникации. 2006. – №6. – С.12-16.
4. Miroshnichenko, S.Yu. Adaptive Choice of Global Threshold for Binarization of Gradient Images [Text] / S.Yu. Miroshnichenko, S.V. Degtyarev, Yu.A. Rukavitsin // Pattern Recognition and Image Analysis, Vol. 15, №1. 2005. – PP. 249-251.
5. Мирошниченко, С.Ю. Распознающий аппаратно-программный диагностирующий комплекс [Текст] / С.Ю. Мирошниченко, В.Н. Мишустин, С.В. Дегтярев // Изв. ВУЗов. Приборостроение. 2005. – Т. 48, №2. – С. 22-27.



6. Мирошниченко, С.Ю. Телевизионное устройство выделения контуров [Текст] / С.В. Дегтярев, С.Ю. Мирошниченко, В.С. Титов // Изв. ВУЗов. Приборостроение. 2005. – Т. 48, №11. – С. 60-63.
7. Мирошниченко, С.Ю. Метод автоматического кадрирования цифровых портретных изображений для цифровых фотоаппаратов [Текст] / С.В. Дегтярев, А.В. Медведев, С.Ю. Мирошниченко // Изв. ВУЗов. Приборостроение. 2008. – Т. 51, №2. – С. 5-9.

#### **Монографии**

8. Мирошниченко, С.Ю. Параграф 1.2. Математическая модель обработки изображения, параграф 1.4. Метод обнаружения глаз на изображении и распознавания их состояния [Текст] / В.С. Титов, М.И. Труфанов, Е.А. Макарецкий, А.Я. Паринский. Монография «Оптико-электронные устройства обработки и распознавания изображений» // Тула: Изд-во ТулГУ, 2008. – 121 с.

#### **Материалы конференций**

9. Мирошниченко, С.Ю. Универсальная программная система обработки изображений [Текст] / С.Ю. Мирошниченко, С.В. Дегтярев, В.С. Титов // Тезисы докладов XI Всероссийской конференции по проблемам математики информатики, физики и химии. Секция физики. – М.: РУДН, 2004. – С. 101-102.
10. Мирошниченко, С.Ю. Алгоритм скелетизации бинарных контурных изображений на основе анализа восьмисвязной окрестности точки [Текст] / С.Ю. Мирошниченко, С.В. Дегтярев // Материалы межрегиональной итоговой научн.-техн. Конференции «Интеллектуальные и информационные системы». – Тула: ТулГТУ, 2004. – С. 61-62.
11. Мирошниченко, С.Ю. Выделение контуров в телевизионных изображениях [Текст] / С.Ю. Мирошниченко, В.С. Титов, В.А. Денисюк // Материалы 4-й международной конференции «Телевидение 2005». – СПб: СПбЭТУ, 2005. – С. 75-76.
12. Мирошниченко, С.Ю. Экспериментальное сравнение операторов пространственного дифференцирования [Текст] / С.Ю. Мирошниченко, С.В. Дегтярев // VIII международная науч.-техн. Конф. «Медико-экологические информационные технологии 2005». – Курск: КурскГТУ, 2005. – С 125-127.
13. Мирошниченко, С.Ю. Способ адаптивного выбора глобального порога бинаризации градиентных изображений [Текст] / С.Ю. Мирошниченко // Молодежь и XXI век. Тезисы докладов XXXII межвузовской науч.-техн. Конф. – Курск: КурскГТУ, 2004. Т.1, – С. 25-27.
14. Мирошниченко, С.Ю. Выделение контуров на полутоновых изображениях при помощи модифицированного оператора Канни [Текст] / С.Ю. Мирошниченко // Молодежь и XXI век. Тезисы докладов XXXIII межвузовской науч.-техн. Конф. – Курск: КурскГТУ, 2005. Т.1, – С. 35-36.
15. Miroshnichenko, S.Yu. The Method for Aerospace Orthotransformed Images Preprocessing [Text] / S.Yu. Miroshnichenko, S.V. Degtyarev // Proceedings of the 8-th International Conference “Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies”. – Vol. 2, Yoshkar-Ola, 2007. – PP. 316-318.
16. Miroshnichenko, S.Yu. Automatized aerospace photoimages vectorization for digital maps creation and actualization [Text] / S.V. Degtyarev, S.Yu. Miroshnichenko // Proceedings of the 5-th International Conference “International Conference on Information and Telecommunication Technologies in Intelligent Systems”. – Mallorca, 2007. – PP. 181-182.
17. Мирошниченко, С.Ю. Выделение контуров объектов на изображении с использованием функции регуляризации Тихонова [Текст] / Ко Ко Куо, С.Ю. Мирошниченко // Сб. мат-лов. 8-й Межд. Конф. «Распознавание-2008». – Ч.2. Курск: КурскГТУ, 2008. – С. 14-16.
18. Мирошниченко, С.Ю. Локализация и гистограммная компенсация теней объектов на аэрокосмических изображениях [Текст] / С.Ю. Мирошниченко // Сб. мат-лов. 8-й Межд. Конф. «Распознавание-2008». – Ч.2. Курск: КурскГТУ, 2008. – С. 189-190.

19. Miroshnichenko, S.Yu. Buildings and Structures Preliminary Identification on Aerospace Images Using Edges Detection with Local Scale Estimation [Text] / S.Yu. Miroshnichenko // Proceedings of the 9-th International Conference "Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies". – Vol. 2, Nizhni Novgorod, 2008. – PP. 51-52.

20. Мирошниченко, С.Ю. Метод устранения разрывов в контурах объектов для построения векторного описания аэрокосмических изображений [Текст] / С.Ю. Мирошниченко // IV науч.-прат. Конф. «Перспективы развития систем управления оружием», – М.: Бредитников иКо, 2007, – С. 109-115.

#### **Патенты на изобретения**

21. Мирошниченко, С.Ю. Патент №2314026 Российская Федерация, МПК А61В5/103. Способ оптико-электронной диагностики тромбоза глубоких вен голени / С.Ю. Мирошниченко и др.; Заявитель и патентообладатель КурскГТУ. №2006100926/14; заявл. 10.01.2006; опубл. 10.01.2008; бюл. №1. – 11с

#### **Свидетельства о регистрации программ**

22. Мирошниченко, С.Ю. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2005613008. Универсальная программная система для обработки изображений / Мирошниченко С.Ю.; Заявитель и правообладатель КурскГТУ. №2005612488; заявл. 3.10.2005; зарег. 21.11.2005.

Подписано к печати 20 мая 2009г. Формат 60х84 1/16.  
Печатных листов 1,0. Тираж 100 экз. Заказ \_\_\_\_\_.  
Курский государственный технический университет.  
Издательско-полиграфический центр Курского государственного  
технического университета.  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94