

С. Ю. Мирошниченко, В. С. Титов

ПАРАЛЛЕЛЬНО-КОНВЕЙЕРНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ВЕКТОРИЗАЦИИ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Рассмотрены структурная схема и алгоритмы функционирования устройства автоматического построения тематического слоя зданий и строений для электронных карт геоинформационных систем на основе аэрокосмических изображений. Наличие специализированных параллельных графических модулей и конвейерный режим функционирования устройства позволяют повысить степень загрузки вычислительных блоков и увеличить его производительность.

Ключевые слова: геоинформационные системы, аэрокосмические изображения, автоматическая векторизация, слой зданий, выделение контуров, параллельно-конвейерное устройство.

В современном мире геоинформационные системы (ГИС) используются при решении широкого круга задач в области кадастрового учета и городского планирования, управления транспортом, землепользования и сельскохозяйственной деятельности, подведения коммуникаций и их обслуживания [1, 2]. Для эффективного решения поставленных задач пользователи ГИС должны получать актуальную информацию, полностью отражающую реальное состояние определенного региона на текущий момент времени. Следовательно, необходимо периодически производить актуализацию электронных карт ГИС с учетом изменений, произошедших со времени последнего обновления.

Наиболее актуальную информацию, необходимую для создания и обновления электронных карт ГИС, предоставляют цифровые аэрокосмические изображения. Перенос информации, содержащейся в аэрокосмическом изображении, в электронную карту выполняется путем формирования набора тематических слоев, каждый из которых содержит векторные представления принадлежащих данному слою объектов.

Процесс построения электронной карты на основе аэрокосмического изображения называется *векторизацией* и заключается в последовательном создании оператором векторных представлений объектов каждого из необходимых тематических слоев. Векторизация аэрокосмических изображений является трудоемким процессом, поскольку автоматизирована слабо и практически полностью выполняется оператором. Методы и программные продукты, применяемые для автоматической векторизации сканированных картографических материалов, практически неприменимы для аэрокосмических изображений, поскольку не учитывают их информационной избыточности и сложности внутренней структуры содержащихся в них объектов [3].

В настоящей статье предложен метод автоматического формирования слоя городской застройки по аэрокосмическому изображению, основанный на контурном подходе к решению задачи локализации объектов и предназначенный для автоматического построения „эскиза“ данного тематического слоя, что позволяет избавить оператора от рутинных операций по

„отрисовке“ объектов. Данный метод позволяет существенно сократить время, необходимое для создания или обновления электронной карты города, однако обладает высокой вычислительной сложностью (время обработки изображения $10\,000 \times 10\,000$ точек параллельной реализацией метода на четырехъядерных процессорах Intel Core 2 Quad или AMD Phenom достигает нескольких часов).

Для снижения временных затрат на автоматическое построение тематического слоя городской застройки разработано параллельно-конвейерное устройство, содержащее процессорный модуль (ПМ), состоящий из управляющего процессора (УП) и блока векторизации (БВ), ОЗУ, контроллер ОЗУ (КЗУ), первый графический модуль (ГМ1), состоящий из первого графического процессора (ГП1) и первой буферной памяти (БП1), модуль (ГМ2), состоящий из ГП2 и БП2, третий графический модуль (ГМ3), состоящий из ГП3 и БП3, контроллер ввода—вывода изображения (КВВ), внешнее ЗУ (ВЗУ), информационный интерфейс (ИИ). Структурная схема устройства приведена на рис. 1.

Устройство функционирует в двух режимах: последовательном и конвейерном.

При запуске устройства обработка первого изображения выполняется в последовательном режиме (граф-схема алгоритма последовательного режима приведена на рис. 2).

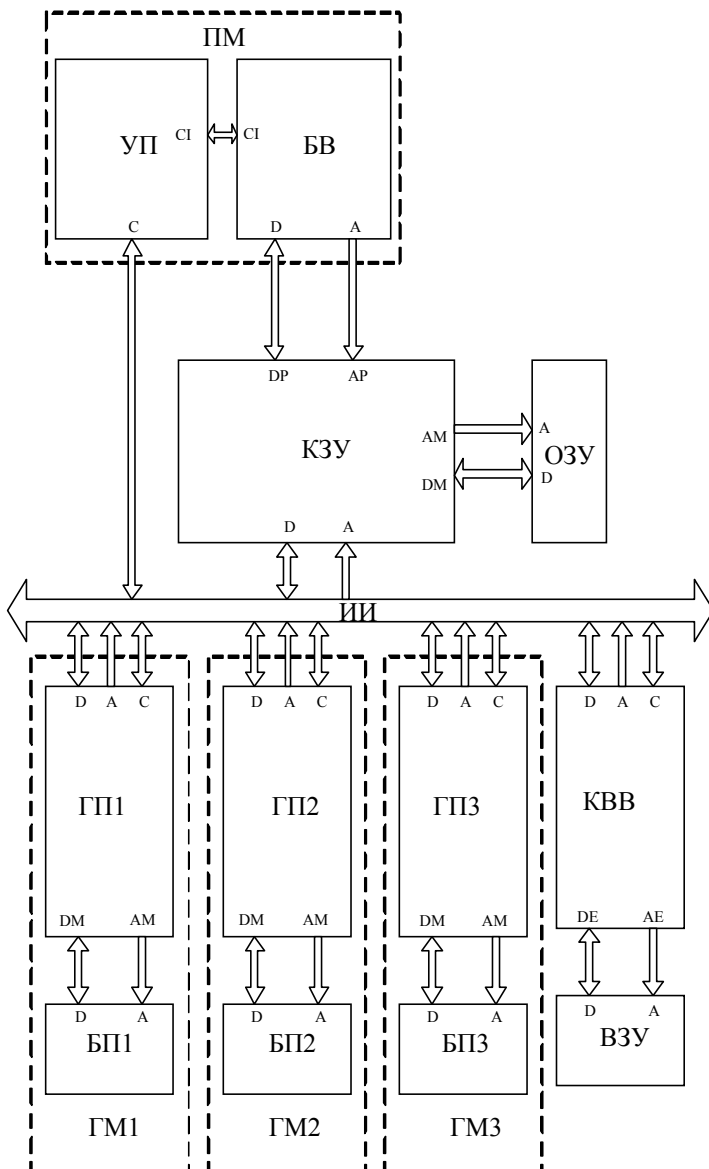


Рис. 1

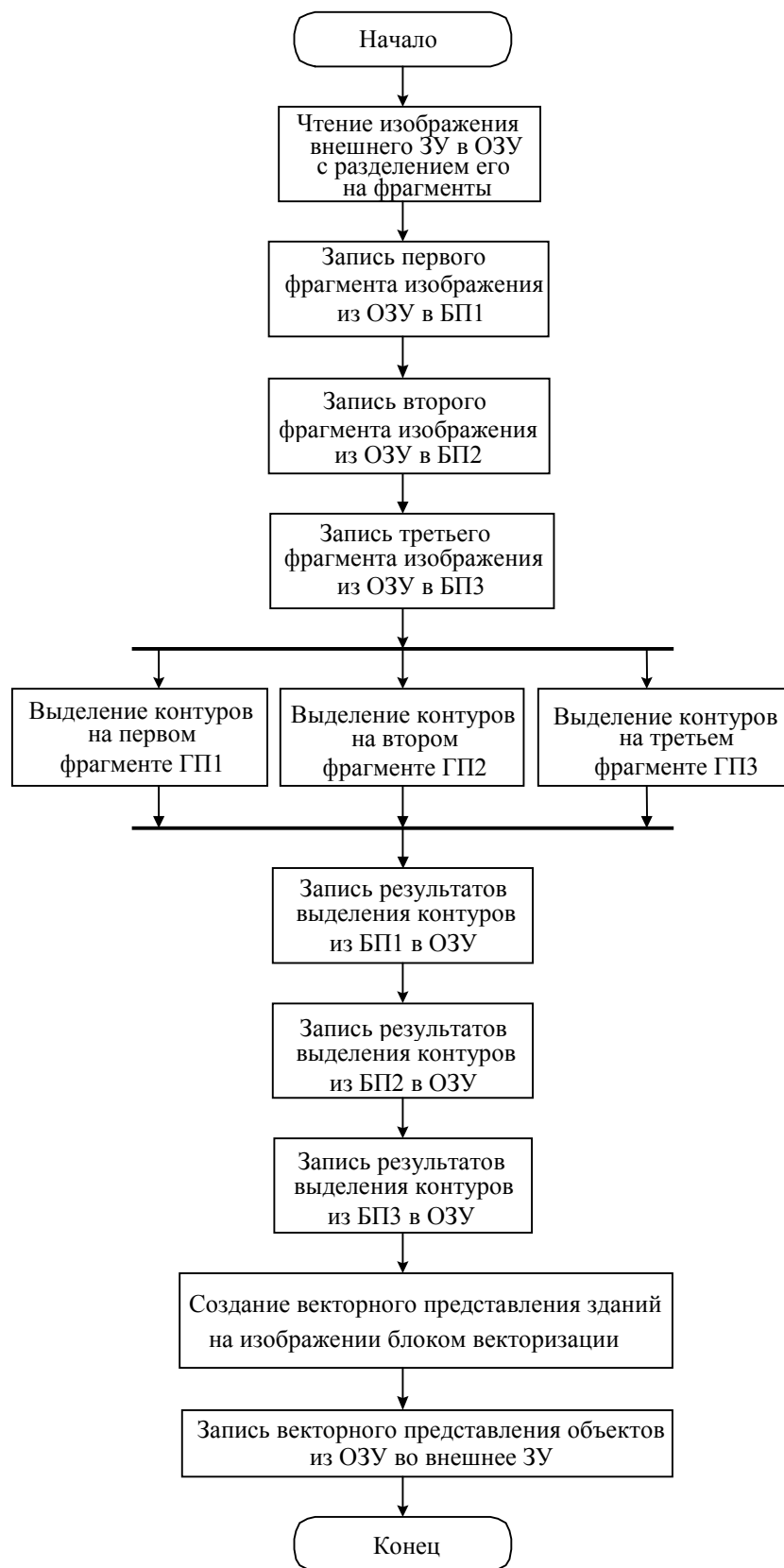


Рис. 2

Для этого по команде управляющего процессора контроллер ввода—вывода выполняет построчное считывание аэрокосмического изображения из внешнего ЗУ и его передачу через информационный интерфейс в ОЗУ под управлением контроллера ОЗУ. По окончании ввода изображения управляющий процессор выдает команду подготовки изображения к обработке, при получении которой контроллер ОЗУ по оси ординат разбивает изображение размером $K \times M$ на три фрагмента (их количество может быть произвольным и определяется числом графических модулей). Размер каждого фрагмента увеличен на $2N$ элементов в каждом измерении. В центре созданного фрагмента размещается часть исходного изображения, за счет чего по краям образуется „бордюр“ в N элементов (рис. 3), который позволяет обрабатывать фрагмент изображения дифференциальными масочными операторами, не изменяя алгоритма свертки на краях фрагмента. Ширина „бордюра“ N вычисляется исходя из точности аппроксимации при построении масочных фильтров на основании первой производной функции Гаусса с максимальным значением масштаба σ_{\max} (как правило, $N = 4\sigma_{\max}$).

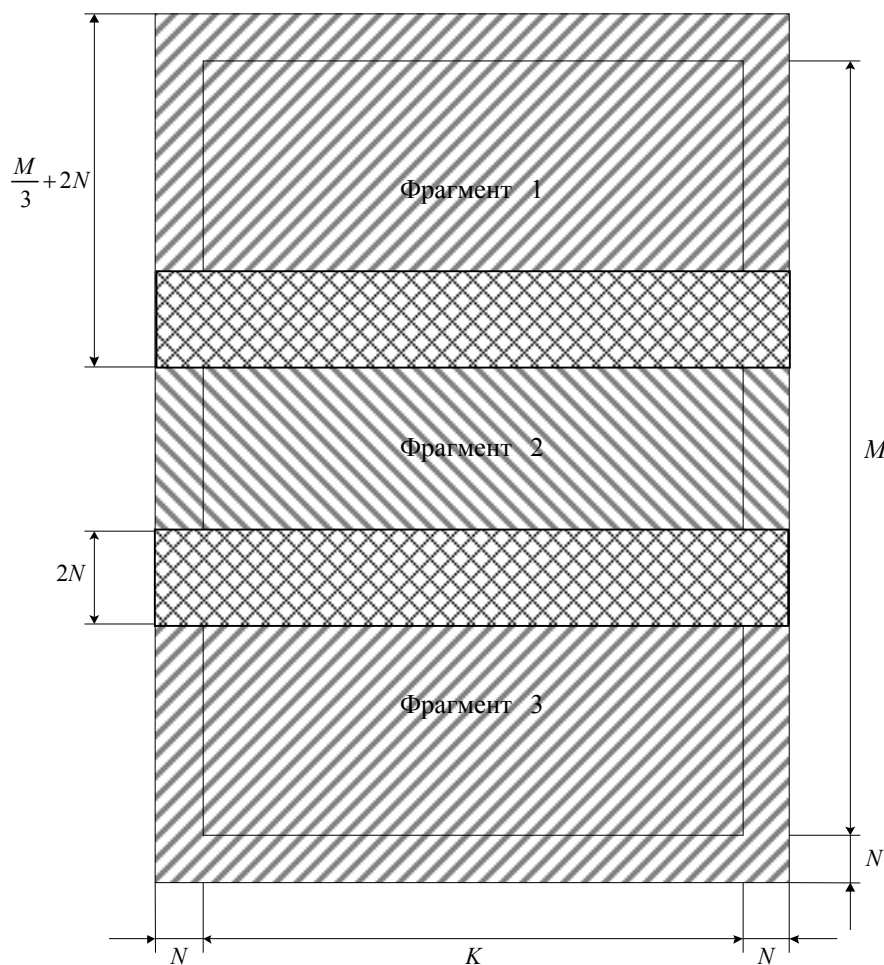


Рис. 3

По команде передачи данных на обработку, выдаваемой управляющим процессором, первый фрагмент из ОЗУ под управлением контроллера ОЗУ через информационный интерфейс передается в буферную память первого графического модуля. Таким же образом осуществляется передача второго и третьего фрагментов в буферную память второго и третьего графических модулей соответственно. По окончании передачи данных управляющий процессор выдает команду, которая инициирует обработку фрагментов изображения графическими процессорами.

Алгоритм обработки следующий.

1. Дифференцирование фрагментов исходного изображения. Производится свертка фрагмента с масками, представляющими дискретные аппроксимации первых частных производных функции Гаусса. Масштаб функции Гаусса σ вычисляется в каждой точке фрагмента с учетом функции яркости [4, 5]. В результате дифференцирования формируется карта модулей, описывающая контуры объектов на изображении.

2. Утончение контурных линий объектов на карте модулей градиента с помощью критерия максимума модуля градиента в направлении, перпендикулярном касательной к контурной линии в данной точке [6]. Утончение производится для приведения контурных линий к односвязному виду, обеспечивающему возможность их последующего векторного кодирования.

3. Бинаризация карты модулей градиента для отделения малоинформативных деталей изображения, которая выполняется с помощью порогового оператора с гистерезисом [6]. Пороговые значения рассчитываются автоматически с помощью сигма-метода [7] и метода Отсу [8].

По завершении обработки управляющий процессор инициирует передачу бинарных контурных представлений фрагментов исходного изображения из буферной памяти каждого из трех графических модулей через информационный интерфейс в ОЗУ с последующим их объединением в результирующее бинарное изображение.

Блок векторизации по команде управляющего процессора выполняет построение векторного представления объектов тематического слоя городской застройки. Построение включает следующие основные этапы.

1. Формирование векторных представлений контурных линий объектов с помощью алгоритма [9].

2. Восстановление разрывов в контурах объектов.

3. Идентификация контуров зданий и строений.

4. Геометрическая коррекция контуров зданий и приведение их к основанию (фундаменту).

По окончании векторизации сформированное множество векторных представлений зданий и строений по команде управляющего процессора передается из ОЗУ через информационный интерфейс во внешнее ЗУ.

Обработку второго и последующих изображений устройство выполняет в конвейерном режиме, что позволяет повысить загрузку вычислительных блоков (алгоритм конвейерного режима работы представлен на рис. 4). После копирования фрагментов текущего исходного аэрокосмического изображения из ОЗУ в буферную память каждого из трех графических модулей помимо построения бинарных контурных представлений фрагментов графическими процессорами также производится чтение следующего изображения из внешнего ЗУ в ОЗУ и создание блоком векторизации векторного представления зданий и строений по бинарному представлению предыдущего изображения, хранимому в ОЗУ. По окончании всех указанных операций бинарные представления фрагментов текущего изображения последовательно копируются из буферной памяти каждого графического модуля в ОЗУ с помощью контроллера ОЗУ, после чего векторное представление зданий на предыдущем изображении записывается из ОЗУ во внешнее ЗУ.

Процессорный модуль может быть реализован на двухъядерных процессорах Intel Core 2 Duo или AMD Athlon x2, причем первое ядро процессора выполняет функции управляющего процессора, второе — функции блока векторизации. Для реализации процессорного модуля также могут быть использованы трехъядерные процессоры AMD Phenom x3 и четырехъядерные процессоры Intel Core 2 Quad или AMD Phenom, где первое ядро выполняет функции управляющего процессора, а другие два (или три) ядра — функции блока векторизации.

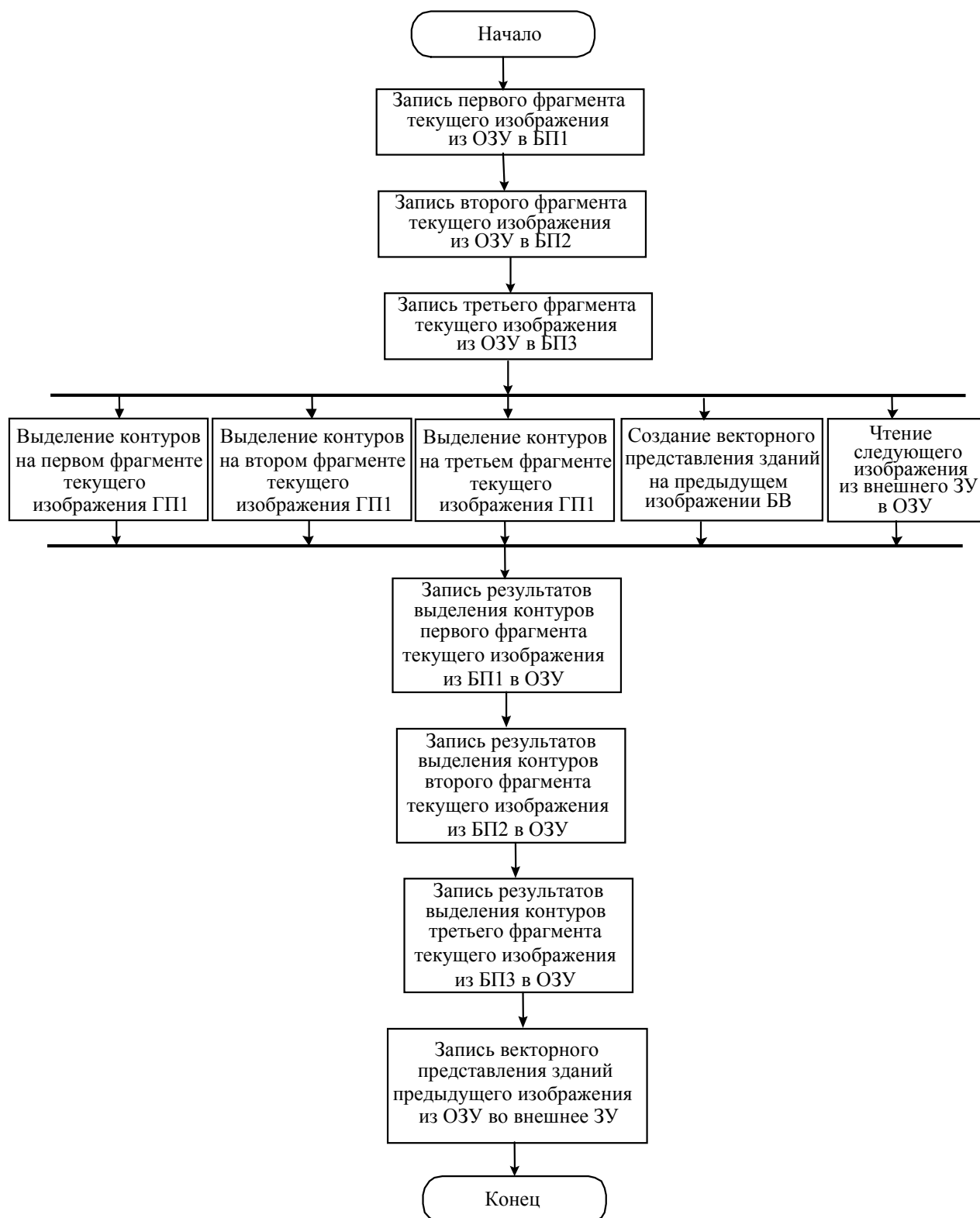


Рис. 4

Графические модули реализуются на трех графических ускорителях nVidia GeForce 8800/9600/9800/GT260/GT280, объединенных с использованием технологии nVidia SLI, с программной реализацией алгоритма выделения контуров объектов на изображении под платформу nVidia CUDA.

Таким образом, предложенное устройство позволяет снизить временные затраты на формирование векторного описания элементов городской застройки по аэрокосмическим изображениям земной поверхности за счет построения бинарного контурного представления изображения средствами специализированных графических модулей, а также за счет конвейерного режима работы, обеспечивающего увеличение производительности аппаратуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андрианов Д. Е. Геоинформационные системы: исследование, анализ и разработка. М.: ГНЦ РФ ВНИИгеосистем, 2004. 184 с.
2. Мартыненко А. И. Информатика и электронная Земля: фундаментальные научные проблемы // Системы и средства информатики. М.: ИПИ РАН, 2001. Вып. 11. С. 94—112.
3. Easy Trace: Интеллектуальное программное обеспечение для векторизации картографических материалов [Электронный ресурс]: <http://easytrace.com/site/russian/easytracepro/new_in_ET.html>.
4. Elder J., Zucker S. Local Scale Control for Edge Detection and Blur Estimation // IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1998. Vol. 20, N 7. P. 699—716.
5. Miroschnichenko S. Yu. Buildings and Structures Preliminary Identification on Aerospace Images Using Edges Detection with Local Scale Estimation // Proc. 9th Int. Conf. „Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies“. Nizhni Novgorod, 2008. Vol. 2. P. 51—52.
6. Canny J. F. A Computational Approach to Edge Detection // IEEE Trans. Pattern Recognition and Machine Intelligence. 1986. Vol. 8, N 6. P. 679—698.
7. Miroschnichenko S. Yu., Degtyarev S. V., Rukavitsin Yu. A. Adaptive Choice of Global Threshold for Binarization of Gradient Images // Pattern Recognition and Image Analysis. 2005. Vol. 15, N 1. P. 249—251.
8. Otsu N. A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms // IEEE Trans. Syst. Man Cybern. 1979. Vol. 9, N 1. P. 62—66.
9. Мирошниченко С. Ю., Мишустин В. Н., Дегтярев С. В. Распознающий аппаратно-программный диагностирующий комплекс // Изв. вузов. Приборостроение. 2005. Т. 48, № 2. С. 22—27.

Сведения об авторах

- Сергей Юрьевич Мирошниченко** — аспирант; Курский государственный технический университет, кафедра вычислительной техники; E-mail: oldguy7@rambler.ru
- Виталий Семенович Титов** — д-р техн. наук, профессор; Курский государственный технический университет, кафедра вычислительной техники; зав. кафедрой; E-mail: titov@vt.kstu.kursk.ru

Рекомендована кафедрой
вычислительной техники

Поступила в редакцию
12.09.08 г.