

На правах рукописи



Шашев Дмитрий Вадимович

**АЛГОРИТМЫ ДИНАМИЧЕСКИ ПЕРЕСТРАИВАЕМЫХ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СРЕД ДЛЯ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

05.13.11 – Математическое и программное обеспечение
вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Томск – 2016

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» на кафедре исследования операций.

Научный руководитель: доктор технических наук
Шидловский Станислав Викторович

Официальные оппоненты:

Титов Виталий Семёнович, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-Западный государственный университет», кафедра вычислительной техники, заведующий кафедрой

Жизняков Аркадий Львович, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», Муромский институт (филиал), первый заместитель директора, заместитель директора по научной работе; кафедра систем автоматизированного проектирования, заведующий кафедрой

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»

Защита состоится 29 декабря 2016 г., в 12 ч. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.267.08, созданного на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36 (учебный корпус № 2, аудитория 102).

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке и на официальном сайте федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» www.tsu.ru.

Материалы по защите диссертации размещены на официальном сайте ТГУ: <http://www.ams.tsu.ru/TSU/QualificationDep/co-searchers.nsf/newpublicationn/ShashevDV29122016.html>

Автореферат разослан «___» ноября 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук,
профессор



Скворцов
Алексей Владимирович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования и степень ее разработанности.

Цифровая обработка изображений – одно из интенсивно развиваемых и повсеместно используемых направлений исследований. Методы цифровой обработки изображений используются для решения широкого круга задач в науке, промышленности, космосе, медицине и т.д. Они применяются при управлении процессами, автоматизации обнаружения и сопровождения объектов, распознавании образов и др. Обработка изображений осуществляется как с помощью универсальных компьютеров, так и с помощью специализированных вычислительных устройств. Ввиду стремительного развития робототехники и ее использования фактически во всех отраслях науки и техники остро стоит задача применения методов цифровой обработки больших потоков изображений в режиме реального времени. Для решения обозначенной задачи наиболее эффективным является использование вычислителей с архитектурой параллельно-конвейерного типа.

Значительный вклад в области развития и применения вычислителей параллельно-конвейерного типа внесли следующие выдающиеся российские и зарубежные ученые: Э.В. Евреинов, А.В. Каляев, И.А. Каляев, И.В. Прангишвили, В.Г. Хорошевский, А.А. Шалыто, В.И. Шмойлов, P. Balaji, R. Duncan, M.J. Flynn, T. Hoefler, S. Matsuoka, T. Sterling, J.L. Traff и др. В области цифровой обработки изображений можно отметить работы таких российских и зарубежных ученых, как Б.А. Алпатов, Ю.В. Визильтер, В.А. Сойфер, В.И. Сырякин, В.С. Титов, Л.П. Ярославский, D.A. Forsyth, R.C. Gonzalez, W.K. Pratt, L.G. Shapiro.

Повсеместно используемые архитектуры вычислителей для цифровой обработки изображений обладают рядом недостатков, существенно ограничивающих их возможности, особенно в условиях наличия малых вычислительных ресурсов. Этими недостатками являются: жесткость вычислительной архитектуры (т.е. невозможность автоматической реконфигурации архитектуры для достижения адекватности структурам и параметрам решаемых задач), неизменность линий связи, трудности распределения задач между параллельными процессорами и др.

Таким образом, указанные факторы стимулируют интенсивные исследования, целью которых является поиск новых, эффективных архитектурных решений, обеспечивающих высокие качественные показатели вычислителей для цифровой обработки изображений, а также разработка нового программно-алгоритмического обеспечения.

Одним из перспективных путей решения задач цифровой обработки изображений в реальном времени является разработка специализированного программно-алгоритмического обеспечения под

принципиально новую архитектуру перестраиваемой вычислительной среды. По данному направлению известны работы Е.И. Пупырева, И.В. Прангишвили, В.Г. Хорошевского, И.А. Каляева. За счет аппаратного выполнения данных алгоритмов и заложенных в архитектуру принципов ее построения достигаются высокие качественные показатели решения задач цифровой обработки изображений.

Цель работы и задачи исследования. Целью работы является повышение эффективности процессов обработки данных в вычислительных машинах и комплексах путем разработки и исследования алгоритмов и моделей перестраиваемых вычислительных сред для обработки изображений.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие основные задачи исследования:

1. Разработать концепцию процесса обработки изображений на перестраиваемых вычислительных средах.

2. Разработать методику синтеза алгоритмов обработки изображений, аппаратно выполняемых на перестраиваемых вычислительных средах.

3. Разработать алгоритмы морфологической обработки бинарных и полутоновых изображений, семантической сегментации бинарного изображения, подсчета площади объекта на бинарном изображении, ориентированные на аппаратное выполнение на вычислителях параллельно-конвейерного типа.

4. Создать программное обеспечение для имитационного моделирования перестраиваемых вычислительных сред, реализующих вышеуказанные алгоритмы, провести вычислительные эксперименты с целью оценки качества и эффективности.

Научная новизна диссертационной работы:

1. Разработана концепция процесса обработки изображений на перестраиваемых вычислительных средах, отличающаяся от известных решений тем, что ориентирована на выполнение задач на низком аппаратном уровне в базисе логических функций «И, ИЛИ, НЕ», причем информация о каждом пикселе исходного изображения поступает на соответствующий отдельный элементарный вычислитель, обладающий динамической перестраиваемостью, что позволяет достичь высокого быстродействия в выполнении данных задач. Разработанная специализированная методика позволяет синтезировать алгоритмы обработки и анализа изображений для их аппаратного выполнения на перестраиваемых вычислительных средах.

2. Созданы алгоритмы морфологической обработки бинарных и полутоновых изображений, ориентированные на аппаратное выполнение на вычислителях параллельно-конвейерного типа, отличающиеся тем, что принцип «скользящего окна» реализуется посредством межъядерных

коммутационных связей перестраиваемой вычислительной среды, что позволяет обрабатывать всё исходное изображение целиком за 1 такт работы элементарного вычислителя для операций «Расширение» и «Сжатие», за 2 такта – для операций «Открытие» и «Заккрытие» вне зависимости от размера обрабатываемого изображения.

3. Создан алгоритм семантической сегментации бинарного изображения на объекты классов «Угол», «Край», «Шум», ориентированный на аппаратное выполнение на вычислителях параллельно-конвейерного типа, отличающийся тем, что классификации подлежит каждый пиксель исходного изображения с присвоением кода, при этом принцип «скользящего окна» реализуется посредством межъядерных коммутационных связей перестраиваемой вычислительной среды, что позволяет обрабатывать всё исходное изображение целиком за 1 такт работы элементарного вычислителя вне зависимости от размера обрабатываемого бинарного изображения.

4. Разработан алгоритм подсчета площади объекта на бинарном изображении, ориентированный на аппаратное выполнение на вычислителях параллельно-конвейерного типа, отличающийся реализацией логической схемы полного сумматора девяти многоразрядных двоичных чисел, при этом принцип «скользящего окна» реализуется посредством межъядерных коммутационных связей перестраиваемой вычислительной среды, что позволяет выполнить алгоритм за $k = \log_3 m$ такта работы элементарного вычислителя, где m – размер исходного квадратного изображения, кратный 3.

Теоретическая и практическая значимость работы. Разработанные концепция процесса обработки изображений на перестраиваемых вычислительных средах и совокупность алгоритмов, имеющих самостоятельное значение, открывают перспективу разработки междисциплинарных методов и основ создания новых устройств получения, обработки и анализа цифровых изображений. Результаты диссертационных исследований могут быть применены также в системах управления, обработке радиолокационных сигналов и высокопроизводительных вычислениях.

Диссертационные исследования выполнены в рамках гранта Президента РФ *МД-411.2014.9*; грантов ФГБУ «Российский фонд фундаментальных исследований» № *16-37-00082 мол_а* (руководитель проекта **Шашев Д.В.**), № *16-07-01138 А*, № *16-29-04388 офи_м*; ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» (контракт № *14.577.21.0018*); договора № *1295* от 14.03.2014 г. НИ ТГУ с АО «Информационные спутниковые системы» им. академика М.Ф. Решетнёва».

Методология и методы исследования. Для решения поставленных задач использовались методы теории вычислительных систем, теории булевой алгебры, теории цифровой обработки и анализа изображений. Экспериментальные исследования выполнялись на реальных и тестовых изображениях с использованием методов имитационного (компьютерного) моделирования.

Положения, выносимые на защиту:

1. Концепция процесса обработки изображений на перестраиваемых вычислительных средах. Специализированная методика синтеза алгоритмов обработки и анализа изображений для их аппаратного выполнения на перестраиваемых вычислительных средах.

2. Алгоритмы морфологической обработки бинарных и полутоновых изображений, ориентированные на аппаратное выполнение на вычислителях параллельно-конвейерного типа.

3. Алгоритм семантической сегментации бинарного изображения на объекты классов «Угол», «Край», «Шум», ориентированный на аппаратное выполнение на вычислителях параллельно-конвейерного типа.

4. Алгоритм подсчета площади объекта на бинарном изображении, ориентированный на аппаратное выполнение на вычислителях параллельно-конвейерного типа.

Личный вклад. Выносимые на защиту результаты получены соискателем лично. Часть результатов, касающихся исследования алгоритмов функционирования перестраиваемых вычислительных сред, получены в соавторстве в ходе работы над статьями.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность полученных результатов подтверждается строгими математическими выводами, проведенными вычислительными экспериментами, согласованностью полученных результатов с имеющимися данными в отечественной и зарубежной литературе, результатами моделирования и экспериментальными исследованиями.

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на научных конференциях различного уровня, в их числе: международные конференции «Распознавание – 2013, 2015» (г. Курск), «Измерение, контроль, информатизация» (г. Барнаул, 2014 г.), «Иноватика – 2016» (г. Томск); российские конференции «Теплофизические основы энергетических технологий» (г. Томск, 2013 г.), «Иноватика – 2013, 2014» (г. Томск), Сибирская конференция по параллельным и высокопроизводительным вычислениям (г. Томск, 2013 г.), «Полифункциональные химические материалы и технологии» (г. Томск, 2013 г.), «Перспективные системы и задачи управления» (г. Евпатория, 2016 г.), «Информационно-измерительная техника и технологии» (г.

Томск, 2016 г.). Результаты работы также докладывались и обсуждались на Международном молодежном промышленном форуме «Инженеры будущего 2014, 2015» (г. Уфа, г. Миасс).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 18 работ, среди которых 3 – в журналах из перечня ВАК (из них 1 статья в российском журнале, переводная версия которого индексируется Scopus), 3 – в изданиях, индексируемых Scopus, 1 патент РФ на полезную модель.

Структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений, списка литературы из 116 наименований и 1 приложения. Диссертация изложена на 131 страницах машинописного текста, содержит 58 рисунков, 4 таблицы. В приложении приведены акты внедрения результатов диссертационной работы, подтверждающие её практическую ценность.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи работы, отражены ее научная новизна, теоретическая и практическая ценность; представлены положения, выносимые на защиту, а также же степень достоверности и апробации результатов.

В первой главе приведен обзор и базовые понятия цифровой обработки изображений. Внимание уделено математическому представлению изображения, описанию основных этапов обработки изображения с детальным описанием алгоритмов морфологической обработки изображений и принципам выделения признаков объектов на изображении.

Подробно описаны принципы построения и функционирования перестраиваемых вычислительных сред (ПВС) как вычислителей с альтернативной архитектурой параллельного типа, применяемых для решения задач цифровой обработки изображений.

В результате проведенного в данной главе исследования сформулированы основные задачи диссертационной работы, решению которых посвящены следующие главы.

Вторая глава посвящена описанию разработанных концепции процесса обработки изображений на ПВС, методики синтеза алгоритмов обработки изображений для выполнения на ПВС, алгоритмов морфологической обработки бинарных и полутоновых изображений, семантической сегментации бинарного изображения, подсчета площади объекта на бинарном изображении, выполняемых на ПВС.

Рассматриваются основы синтеза ПВС, которая абстрактно представлена на рис. 1, в и г. ПВС относятся к вычислителям с

архитектурой параллельно-конвейерного типа и отвечают следующей модели коллектива вычислителей (Э.В. Евреинов, В.Г. Хорошевский, К.В. Павский):

$$S = \langle C, G, A(P(D)) \rangle,$$

где $C = \{c_i\}$ – множество ЭВ c_i , $i = 0, 1, \dots, (N - 1)$; G – структура решетки межвычислительных связей; A – алгоритм работы множества элементарных вычислителей (ЭВ), взаимосвязанных через G , при аппаратной реализации параллельной программы P обработки данных D .

При разработке алгоритма обработки изображений для выполнения на ПВС ключевым фактором является разработка автоматных отображений (абстрактно представлены на рис. 1, *a* и *б*), которые представляют собой систему логических формул, выполняемую ЭВ ПВС. Например, в случае морфологической обработки бинарных изображений используется система логических формул (1).

$$\left\{ \begin{array}{l} f = xy_1y_2y_8[(y_3y_4y_5y_6y_7\bar{z}_2\bar{z}_3) \vee (y_3y_4z_2z_3\bar{z}_4) \vee \\ \vee (y_6y_7\bar{z}_2z_3\bar{z}_4) \vee (\bar{z}_1z_2z_3\bar{z}_4)] \vee xy_4\bar{z}_3[(y_2y_3y_5y_6\bar{z}_2z_4) \vee \\ \vee (y_2y_3\bar{z}_1\bar{z}_2) \vee (y_5y_6y_7y_8z_2\bar{z}_4) \vee (y_5y_6\bar{z}_1\bar{z}_4)] \vee \\ \vee \bar{z}_1\bar{z}_2\bar{z}_4[xy_6y_7y_8 \vee \\ \vee (x \vee y_1 \vee y_2 \vee y_3 \vee y_4 \vee y_5 \vee y_6 \vee y_7 \vee y_8)\bar{z}_3], \\ f_1^M = x\bar{z}_4(z_1\bar{z}_2 \vee \bar{z}_1z_2z_3 \vee \bar{z}_2\bar{z}_3), \\ f_2^M = x\bar{z}_2[\bar{z}_4(z_1 \vee \bar{z}_1z_3) \vee \bar{z}_3], \\ f_3^M = x\bar{z}_2\bar{z}_3, \\ f_4^M = x\bar{z}_3(\bar{z}_2 \vee \bar{z}_4), \\ f_5^M = x[z_1(z_2\bar{z}_4 \vee \bar{z}_2\bar{z}_3) \vee \bar{z}_3\bar{z}_4], \\ f_6^M = x[z_1(\bar{z}_2\bar{z}_3 \vee \bar{z}_4) \vee \bar{z}_4(\bar{z}_2 \vee \bar{z}_3)], \\ f_7^M = x\bar{z}_4(z_1 \vee \bar{z}_2), \\ f_8^M = x\bar{z}_4(z_1\bar{z}_3 \vee \bar{z}_1z_3 \vee \bar{z}_2); \end{array} \right. \quad (1)$$

где f – основной выход ЭВ, x, y_i – информационные входы ЭВ; f_i^M – выходы-связи с соседними ЭВ; z_i – код настройки ЭВ на выполнение определенного автоматного отображения.

Разработанная концепция процесса обработки изображений на ПВС заключается в том, что все исходное изображение попиксельно обрабатывается, согласно выбранному алгоритму, за n тактов работы ЭВ ПВС, при наличии n вычислительных слоев в ПВС (рис. 1, *в* и *г*). Размерность матрицы ПВС в ЭВ совпадает с размерностью

обрабатываемого изображения в пикселях, поскольку каждый ЭВ ПВС отвечает за обработку соответствующего ему пикселя.

В случае морфологической обработки бинарного изображения, представленного системой формул (1), информация о каждом пикселе поступает на вход x соответствующего ЭВ, который настраивается с помощью кодов настройки z_i на выполнение необходимого автоматного отображения. Здесь входы y_i и выходы f_i^M отвечают за обмен дополнительной информацией между соседними ЭВ, в частности для передачи данных о соседних пикселях. В итоге все ЭВ одновременно выполняют настроенные автоматные отображения и на выходах f каждого ЭВ имеем новое значение соответствующего пикселя обработанного изображения. При помощи кодов настройки ЭВ настраивается на выполнение морфологических операций *расширение* или *сжатие*.

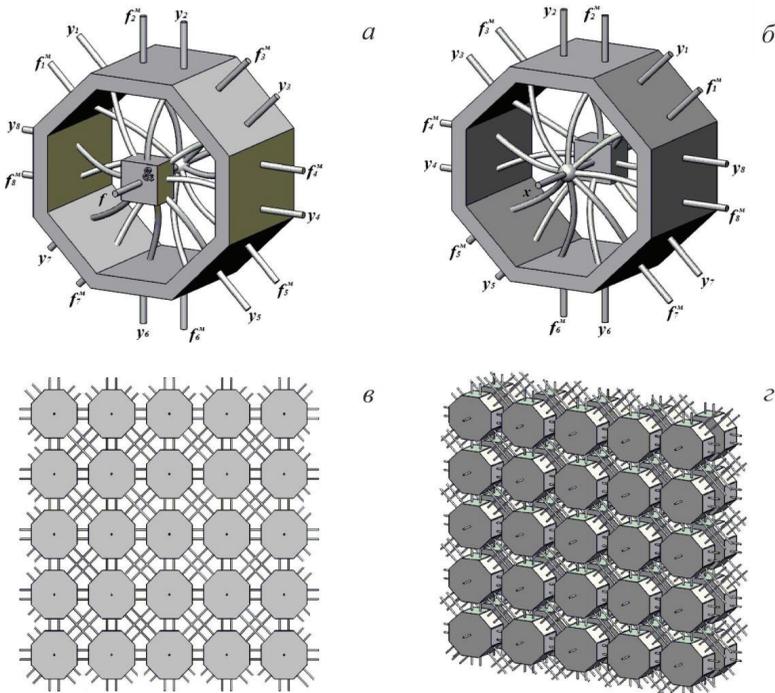


Рис. 1. Пространственное представление ПВС (в, г) и автоматного отображения для базовой морфологической операции *сжатие* (а, б)

Разработанный алгоритм морфологической обработки полутонового изображения отличается оперированием восьмиразрядными двоичными

числами, а также базируется на вычислении *максимального* и *минимального* восьмиразрядного двоичного числа из девяти заданных.

Алгоритм семантической сегментации бинарного изображения на объекты классов «Угол», «Край», «Шум» классифицирует каждый пиксель исходного изображения двухразрядным двоичным кодом и основывается на сравнении окрестности 3×3 пикселя с заданными шаблонами.

Алгоритм подсчета площади объекта на бинарном изображении использует возможности многослойных ПВС. На каждом вычислительном слое каждый ЭВ представляет собой полный сумматор девяти n -разрядных двоичных чисел. В итоге послойно складываются значения всех пикселей изображения.

Согласно разработанной концепции процесса обработки изображений на ПВС, разработанные алгоритмы морфологической обработки бинарных и полутоновых изображений, а также алгоритм семантической сегментации бинарного изображения на объекты классов «Угол», «Край», «Шум» выполняются каждый за 1 такт работы соответствующего ЭВ. В свою очередь, алгоритм подсчета площади объекта на бинарном изображении выполняется за $k = \log_3 m$ тактов работы ЭВ, равных количеству используемых слоев ПВС.

В третьей главе отражены результаты разработки в среде Simulink имитационных моделей ПВС для реализации алгоритмов морфологической обработки бинарных и полутоновых изображений, семантической сегментации бинарных изображений на объекты классов «Угол», «Край», «Шум» и подсчета площади объекта на бинарном изображении.

Для этого в среде Simulink разработке подлежала библиотека соответствующих моделей ЭВ, которые реализованы в соответствии с комбинационными схемами на моделях элементов булевой логики, предоставляемых средой Simulink. В свою очередь, комбинационные схемы основаны на соответствующих системах логических формул для каждого алгоритма обработки изображений, описанных в главе 2.

Используя структуру связи, представленную на рис. 2, создавались имитационные модели ПВС нужной размерности (рис. 3). После этого они модернизировались, путем добавления необходимых Simulink-блоков для тестирования адекватности и работоспособности полученных моделей ПВС на тестовых изображениях.

Четвертая глава посвящена решению задачи определения мощности электронного луча электронно-лучевой пушки по его изображению при помощи использования разработанного алгоритма подсчета площади объекта на бинарном изображении.

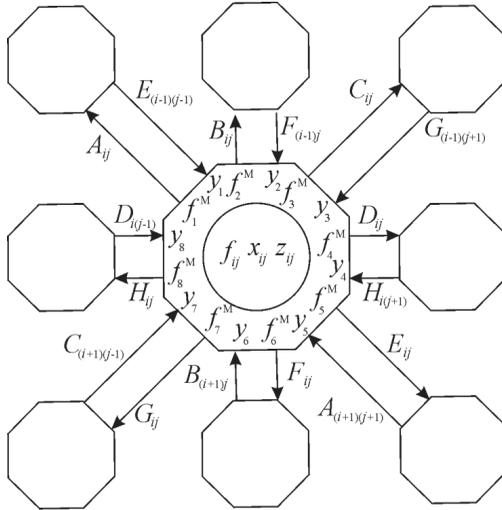
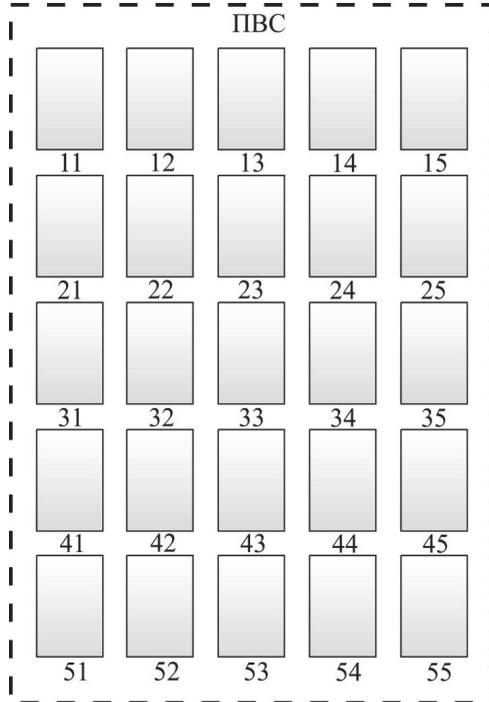


Рис. 2. Структура связи ЭВ в ПВС между собой

Рис. 3. Пример модели ПВС размерностью 5×5 ЭВ

При помощи установки, представленной на рис. 4, была получена серия реальных изображений электронного луча при значениях мощности P равной 0,2, 0,4, 0,6, 1 и 2 кВт (рис. 5).

При помощи разработанной имитационной модели ПВС для изображений с размерностью 729×729 пикселей осуществлен подсчет площади электронного луча на каждом бинарном изображении из серии, причем, исходя из описания в главе 2, ввиду использования шести слоев ПВС алгоритм выполняется за шесть тактов работы ЭВ. В результате получена зависимость площади электронного луча, равная среднему арифметическому по пяти снимкам для каждого значения мощности, от его мощности $S_{cp}(P)$ (рис. 6).

Дополнительно исследованы тепловые процессы, протекающие при вневакuumной электронно-лучевой наплавке. В ходе моделирования получены необходимые зависимости мощности электронного луча от времени его воздействия на систему порошковый слой (TiC)-подложка (нержавеющая сталь).

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы, даны рекомендации по дальнейшим исследованиям.

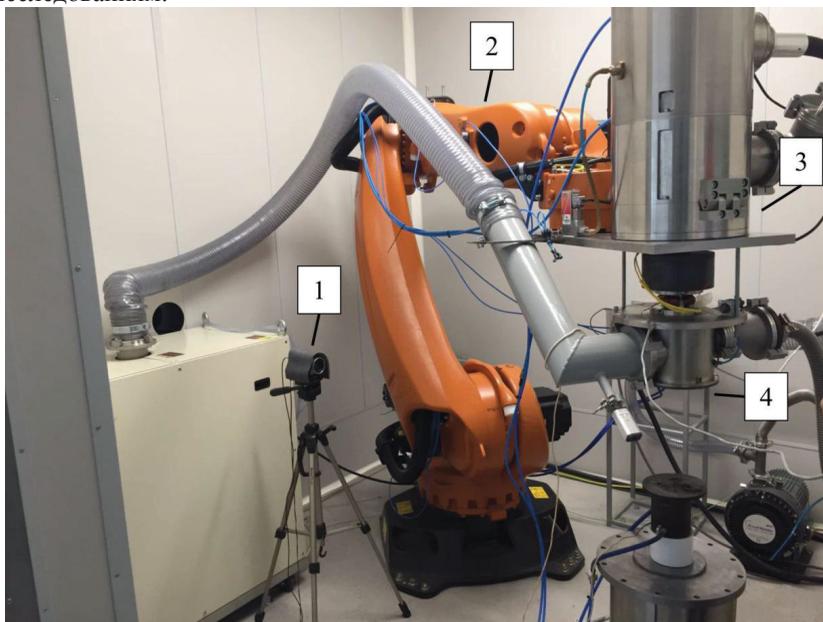


Рис. 4. Установка для получения серии реальных изображений электронного луча: 1 – аналоговая видекамера; 2 – робот-манипулятор; 3 – электронно-лучевая пушка; 4 – зона излучения электронного луча

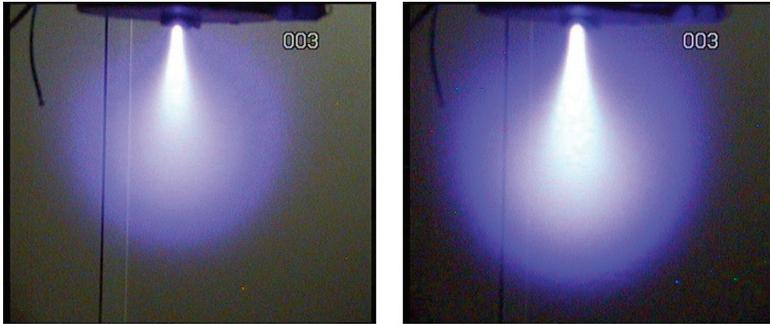
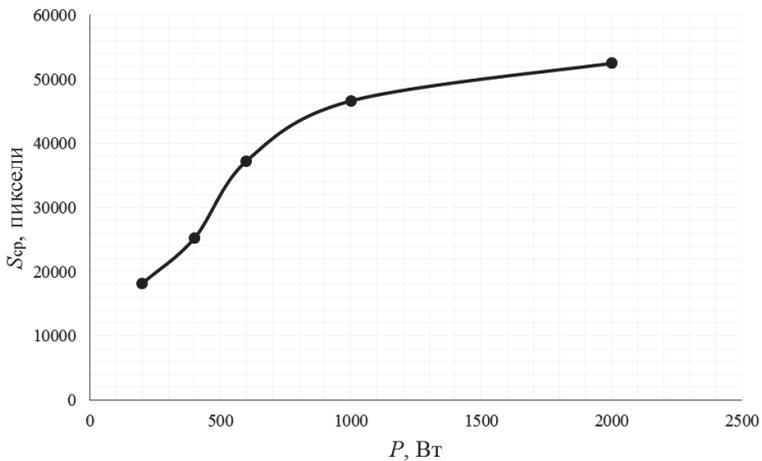
а) $P = 0.2$ кВтб) $P = 0.4$ кВт

Рис. 5. Изображения электронного луча

Рис. 6. График зависимости $S_{cp}(P)$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа является научно-квалификационной работой, в которой содержатся новые научно обоснованные алгоритмы обработки изображений при помощи вычислителей с архитектурой параллельно-конвейерного типа, имеющей значение для развития цифровой обработки изображений.

Отметим следующие наиболее важные результаты, полученные в диссертационной работе:

1. Разработаны концепция процесса обработки изображений на перестраиваемых вычислительных средах и специализированная методика синтеза алгоритмов обработки и анализа изображений для их аппаратного

выполнения на перестраиваемых вычислительных средах. Выполнение задач обработки изображений реализуется на низком аппаратном уровне в базисе логических функций «И, ИЛИ, НЕ», причем информация о каждом пикселе исходного изображения поступает на соответствующий отдельный элементарный вычислитель, обладающий динамической перестраиваемостью, что позволяет достичь высокого быстродействия в выполнении данных задач.

2. Разработаны алгоритмы морфологической обработки бинарных и полутоновых изображений, семантической сегментации бинарного изображения на объекты классов «Угол», «Край», «Шум» и подсчета площади объекта на бинарном изображении, ориентированные на аппаратное выполнение на вычислителях параллельно-конвейерного типа.

3. Достигнуты новые показатели качества процесса обработки данных в разработанных алгоритмах, а именно:

- алгоритмы морфологической обработки бинарных и полутоновых изображений, а также алгоритм семантической сегментации бинарного изображения на объекты классов «Угол», «Край», «Шум» выполняются каждый за 1 такт работы соответствующего элементарного вычислителя перестраиваемой вычислительной среды;

- алгоритм подсчета площади объекта на бинарном изображении выполняется за $k = \log_2 m$ тактов работы элементарного вычислителя перестраиваемой вычислительной среды, равных количеству используемых вычислительных слоев.

4. Разработана библиотека имитационных моделей элементарных вычислителей перестраиваемых вычислительных сред для реализации разработанных алгоритмов обработки изображений. Каждый элементарный вычислитель реализован в соответствии с комбинационными схемами на элементах булевой логики, которые основаны на соответствующих системах логических формул для каждого алгоритма обработки изображений.

5. Созданы имитационные модели перестраиваемых вычислительных сред для реализации разработанных алгоритмов обработки изображений.

6. Проведена проверка работоспособности и адекватности созданных имитационных моделей перестраиваемых вычислительных сред на тестовых изображениях.

7. При помощи разработанного алгоритма подсчета площади объекта на бинарном изображении решена задача определения мощности электронного луча электронно-лучевой пушки по его изображению. Для изображений размером 729×729 пикселей на выполнение алгоритма затрачивается шесть тактов работы элементарного вычислителя перестраиваемой вычислительной среды.

8. Найдена и построена однозначная зависимость площади электронного луча, определяемой по его изображению, в пикселях от мощности электронного луча, изменяющейся в диапазоне 0.2 – 2 кВт.

9. Исследованы тепловые процессы, протекающие при вневакуумной электронно-лучевой наплавке. В ходе моделирования получены необходимые зависимости мощности электронного луча от времени его воздействия на систему порошковый слой (TiC)-подложка (нержавеющая сталь).

Автор благодарит научного руководителя доктора технических наук С.В. Шидловского за оказание систематической поддержки и обсуждение всех вопросов, возникающих в процессе работы над диссертацией.

Слова благодарности автор выражает доктору технических наук, профессору В. И. Сырымкину за ценные советы и комментарии, полученные в ходе обсуждения диссертационных исследований.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук:

1. **Шашев Д. В.** Морфологическая обработка бинарных изображений на базе перестраиваемых вычислительных сред / Д. В. Шашев, С. В. Шидловский // Автометрия. – 2015. – Т. 51, № 3. – С. 19–26. – 0,41 / 0,35 п.л.

в переводной версии журнала:

Shashev D. V. Morphological processing of binary images using reconfigurable computing environments / D. V. Shashev, S. V. Shidlovskiy // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. – 2015. – V. 51, is. 3. – P. 227–233. – DOI: 10.3103/S8756699015030036.

2. **Шашев Д. В.** Реализация перестраиваемой вычислительной среды для выполнения операций морфологической обработки полутонового изображения / Д. В. Шашев, С. В. Шидловский, В. И. Сырымкин // Телекоммуникации. – 2015. – № 9. – С. 34–38. – 0,27 / 0,2 п.л.

3. **Шашев Д. В.** Построение реконфигурируемых систем автоматического управления и переработки информации в автономных подвижных роботах / Д. В. Шашев, С. В. Шидловский // Телекоммуникации. – 2016. – № 2. – С. 33–38. – 0,34 / 0,26 п.л.

Публикации в изданиях, индексируемых Scopus:

4. **Shashev D. V.** Application of reconfigurable computing environments for image processing in X-ray tomography of materials / D. V. Shashev, S. V. Shidlovskiy, V. I. Syriamkin, A. V. Yurchenko // IOP Conference Series :

Materials Science and Engineering. – 2015. – V. 81 – 012101. – 6 p. – DOI: 10.1088/1757-899X/81/1/012101. – 0,28 / 0,2 п.л.

5. **Shashev D. V.** Image processing in medical robotic systems / D. V. Shashev // MATEC Web of Conferences. – 2016. – V. 79. – 01050. – 6 p. – DOI: 10.1051/mateconf/20167901050. – 0,3 п.л.

6. Borovik V. Industrial robot automation in solving non-vacuum electron-beam welding problems / V. Borovik, V. Shatravin, I. Junusov, **D. Shashev**, S. Kornilov, N. Rempe, S. Shidlovskiy // MATEC Web of Conferences. – 2016. – V. 79. – 01034. – 8 p. – DOI: 10.1051/mateconf/20167901034. – 0,38 / 0,19 п.л.

Патенты РФ:

7. **Патент 158423 Российская Федерация, МПК G 06 F 7/00.** Ячейка однородной среды / **Шашев Д. В.**; заявитель и патентообладатель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» (ТГУ, НИ ТГУ) (RU). – № 2015126249/08; заявл. 01.07.2015; опублик. 27.12.2015, Бюл. № 36. – 6 с.: ил.

Публикации в других научных изданиях:

8. **Шашев Д. В.** Перестраиваемая вычислительная среда для задач обработки бинарных изображений / Д. В. Шашев, С. В. Шидловский // Седьмая Сибирская конференция по параллельным и высокопроизводительным вычислениям : программа и тезисы докладов. Томск, 12–14 ноября 2013 г. – Томск, 2013. – С. 41–42. – 0,06 / 0,05 п.л.

9. **Шашев Д. В.** Методы технического зрения в задачах автоматизации технологического процесса / Д. В. Шашев, С. В. Шидловский // Инноватика–2013 : сборник материалов IX Всероссийской школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием. Томск, 23–25 апреля 2013 г. – Томск, 2013. – Т. 1. – С. 173–177. – 0,15 / 0,12 п.л.

10. **Шашев Д. В.** Обработка изображений в корреляционно-экстремальных навигационных системах / Д. В. Шашев, С. В. Шидловский // Опτικο-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации. Распознавание – 2013 : сборник материалов XI Международной научно-технической конференции. Курск, 17–20 сентября 2013 г. – Курск, 2013. – С. 116–118. – 0,06 / 0,05 п.л.

11. **Шашев Д. В.** Имитационное моделирование системы обработки изображения / Д. В. Шашев, С. В. Шидловский // Теплофизические основы энергетических технологий : сборник научных трудов IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Томск, 10–12 октября 2013 г. – Томск, 2013. – С. 186–190. – 0,14 / 0,11 п.л.

12. Шидловский С. В. Структурно-перестраиваемые алгоритмы управления мехатронной системой цифрового рентгеновского микромографа / С. В. Шидловский, **Д. В. Шашев** // Полифункциональные химические материалы и технологии : материалы Всероссийской

с международным участием научной конференции. Томск, 21–23 ноября 2013 г. – Томск, 2013. – С. 248–249. – 0,06 / 0,03 п.л.

13. **Шашев Д. В.** Перспектива использования модели перестраиваемой вычислительной среды для задач автоматизации конвейерной обработки информации / Д. В. Шашев, В. И. Юрченко // Измерение, контроль, информатизация : материалы XV международной научно-технической конференции. Барнаул, 23 апреля 2014 г. – Барнаул, 2014. – С. 236–240. – 0,17 / 0,13 п.л.

14. **Шашев Д. В.** Имитационная модель перестраиваемой вычислительной среды для задач обработки поточных данных / Д. В. Шашев, С. В. Шидловский // Инноватика-2014 : сборник материалов X Всероссийской школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием. Томск, 23–25 апреля 2014 г. – Томск, 2014. – С. 246–248. – 0,11 / 0,08 п.л.

15. **Шашев Д. В.** Синтез перестраиваемой вычислительной среды для задач обработки изображений / Д. В. Шашев, С. В. Шидловский // Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации. Распознавание – 2015 : сборник материалов XII Международной научно-технической конференции. Курск, 12–16 мая 2015 г. – Курск, 2015. – С. 393–395. – 0,08 / 0,06 п.л.

16. **Шашев Д. В.** Перестраиваемая вычислительная среда – модель унифицированной высокопроизводительной вычислительной системы для задач управления и обработки больших потоков данных / Д. В. Шашев // Перспективные системы и задачи управления : сборник материалов Одиннадцатой Всероссийской научно-практической конференции и Седьмой молодежной школы-семинара «Управление и обработка информации в технических системах. Евпатория, 04–08 апреля 2016 г. – Ростов-на-Дону, 2016. – Т. II. – С. 207–208. – 0,1 п.л.

17. **Шашев Д. В.** Математическое и имитационное моделирование перестраиваемых вычислительных сред / Д. В. Шашев // Инноватика–2016 : сборник материалов XII Международной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Томск, 20–22 апреля 2016 г. – Томск, 2016. – С. 197–200. – 0,12 п.л.

18. **Шашев Д. В.** Обработка изображений в интеллектуальных медицинских робототехнических системах / Д. В. Шашев // Информационно-измерительная техника и технологии : материалы VII научно-практической конференции. Томск, 25–28 мая 2016 г. – Томск, 2016. – С. 544–550. – 0,36 п.л.

Издание подготовлено в авторской редакции

Отпечатано на участке цифровой печати
Издательского Дома Томского государственного университета

Заказ № 2152 от «28» октября 2016 г. Тираж 150 экз.