

Международная магистерская программа «Высокопроизводительные и распределенные системы обработки информации»

Э.И. Коломиец^a

^a Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, 443086, Московское шоссе, 34, Самара, Россия

Аннотация

В статье представлена информация о содержании и ресурсном обеспечении магистерской программы «Высокопроизводительные и распределенные системы обработки информации» по направлению «Прикладная математика и информатика», имеющей международную аккредитацию.

Ключевые слова: магистерская программа; учебный план; описания основных курсов; параллельное и распределенное программирование; суперкомпьютеры; интеллектуальный анализ данных

1. Введение

В соответствии со Стратегией развития отрасли информационных технологий в Российской Федерации на 2014 - 2020 годы и на перспективу до 2025 года (Стратегией), утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 1 ноября 2013 г. № 2036-р, приоритетные направления исследований и разработок в области информационных технологий включают:

- анализ больших массивов данных и извлечение знаний, включая новые методы и алгоритмы для сбора, хранения и интеллектуального анализа больших объемов данных, новые методы и программное обеспечение распределенной обработки больших данных, а также новые методы и программное обеспечение для предсказательного моделирования сложных инженерных решений;

- разработку новых высокопроизводительных систем вычислений и хранения данных, включая новые алгоритмы для параллельных вычислений, новые суперкомпьютерные технологии и приложения, новые технологии связи и протоколы взаимодействия для повышения энергоэффективности, отказоустойчивости и снижения времени обмена между элементами системы, а также новое программное обеспечение для высокопроизводительных и надежных систем хранения данных;

- повсеместные и "облачные" вычисления, включая новые алгоритмы обеспечения взаимодействия автономных (в том числе мобильных, транспортных) устройств между собой, новые алгоритмы взаимодействия робототехнических комплексов и человека, новые технологические элементы сетевой инфраструктуры передачи данных, новые интегрированные сенсоры и сенсорные сети, а также новые элементы инфраструктуры и программного обеспечения для реализации различных моделей предоставления "облачных" сервисов.

Ключевой проблемой современных информационных технологий является интеллектуальный анализ больших объемов данных (Big Data) – технологии переработки информации огромного объема и разнообразного состава (весьма часто обновляемой и находящейся в разных источниках), обеспечивающие переход от простого использования информационных активов к их капитализации: выявление будущих потребностей, создание новых продуктов и сервисов, повышение конкурентоспособности, разработка принципиально новых подходов к решению комплексных междисциплинарных фундаментальных и прикладных задач практически во всех областях деятельности человека. Аналитическая компания International Data Corporation (www.idc.com, www.idcrussia.com) указывает на то, что работа с Big Data станет еще одной «must-have» компетенцией в современном мире.

Отрасль информационных технологий является одной из наиболее динамично развивающихся отраслей как в мире, так и в России. Объем мирового рынка информационных технологий оценивается в 1,7 трлн. долларов США. По прогнозам, в ближайшие годы мировой ИТ-рынок продолжит расти в среднем не менее чем на 5 процентов в год. При этом российская отрасль информационных технологий имеет потенциал значительно более быстрого роста - на 10 процентов и более в год.

Мероприятия Стратегии предусматривают увеличение к 2020 году количества высокотехнологичных рабочих мест в российской отрасли информационных технологий до 700 тыс. (порядка 60 тыс. мест ежегодно), а также обеспечение ежегодного роста объема производства отечественной продукции и услуг в сфере информационных технологий не менее чем на 1 млрд. долларов США.

Для обеспечения темпов роста приоритетных направлений исследований и разработок в области информационных технологий высококвалифицированными кадрами в Самарском национальном исследовательском университете имени академика С.П. Королева (Самарском университете, до 2016 года – Самарском государственном аэрокосмическом университете) совместно с Институтом систем обработки изображений Российской академии наук (ИСОИ РАН) – филиалом Федерального научно-исследовательского центра "Кристаллография и фотоника" РАН [1] была разработана

магистерская программа «Высокопроизводительные и распределенные системы обработки информации» (далее – магистерская программа).

Магистерская программа разрабатывалась в рамках создания национальной системы подготовки кадров в области суперкомпьютерных технологий и высокопроизводительных вычислений, осуществляемой Суперкомпьютерным Консорциумом университетов России (www.hpc-russia.ru, www.parallel.ru), постоянным членом которого Самарский университет является с 2012 года (Президент Консорциума – ректор МГУ имени М.В. Ломоносова, академик РАН В.А. Садовничий).

Содержание магистерской программы основано на научных достижениях ведущей научной школы России «Дифракционная нанопотоника и компьютерная оптика» в области информационно-телекоммуникационных систем и технологий под руководством академика РАН В.А. Сойфера [2-10].



Рис. 1. Академик РАН, доктор технических наук, профессор В.А. Сойфер.

Магистерская программа реализуется с 2012 года на факультете информатики Самарского университета в рамках направления «Прикладная математика и информатика». В 2015 году магистерская программа прошла международную общественно-профессиональную аккредитацию в Аккредитационном центре Ассоциации инженерного образования России (АИОР) с выдачей Сертификата АИОР и Сертификата Европейской сети по аккредитации в области инженерного образования (ENAEЕ) о присвоении программе «Европейского знака качества» (EUR-ACE® Label). Магистерская программа внесена в реестр аккредитованных программ АИОР и в реестр ENAEЕ (www.ac-raee.ru, www.eur-ace.eu).



Рис. 2. Сертификаты об аккредитации.

Руководителем магистерской программы является известный ученый, доктор физико-математических наук, профессор Н.Л. Казанский, руководитель ИСОИ РАН – филиала ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН.

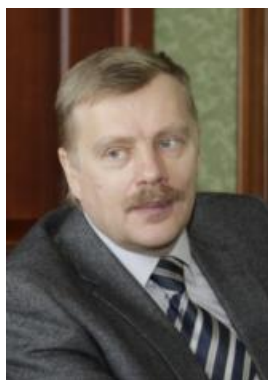


Рис. 3. Доктор физико-математических наук, профессор Н.Л. Казанский.

Область научных интересов профессора Н.Л. Казанского: математическое моделирование [11-13]; опто-информационные технологии [14-15]; распределенные вычисления [16-17]; компьютерная оптика [18-25]; системы технического зрения [26-28]; дифракционная нанофотоника [29-37].

Профессор Н.Л. Казанский - автор и соавтор более 400 научных работ, в том числе 12 монографий, 1 учебника, 8 учебных пособий, 57 патентов на изобретения, включая три евразийских патента. В международной базе данных Scopus индекс Хирша – 26; Российский индекс научного цитирования (e-library.ru): 392 публикации, 4418 ссылок, индекс Хирша – 33, i10-индекс – 120.

В учебном процессе активное участие принимают ведущие ученые базовой кафедры ИСОИ РАН «Высокопроизводительные вычисления»: заведующий кафедрой, доктор физико-математических наук, профессор Н.Л. Казанский; доктор технических наук, профессор С.Б. Попов; доктор технических наук, профессор А.В. Куприянов; доктор физико-математических наук, профессор Д.Л. Головашкин; доктор технических наук, профессор В.А. Фурсов [38]; доктор технических наук, профессор А.В. Никоноров; доктор технических наук, профессор Н.Ю. Ильясова; доктор технических наук, профессор А.Н. Коварцев; доктор технических наук, профессор С.В. Востокин.

2. Общее описание магистерской программы

Форма обучения – очная.

Продолжительность обучения - 2 года.

Общая трудоемкость программы – 120 зачетных единиц (кредитов ECTS).

Присваиваемая квалификация – Магистр по направлению «Прикладная математика и информатика».

Цель программы. Целью программы является подготовка высококвалифицированных специалистов, владеющих передовой методологией, совокупностью знаний, умений и навыков в области инструментальных средств и технологий параллельного программирования, высокопроизводительных вычислений, грид-технологий и распределенной обработки информации.

Образовательный процесс. Магистрантам, обучающимся по программе, предоставляется возможность:

- работать в лабораториях, оснащенных современным учебным, технологическим и исследовательским оборудованием;
- использовать современную высокопроизводительную вычислительную технику для проведения научных и экспериментальных исследований;
- использовать при обучении и в научно-исследовательской работе профессиональное программное обеспечение;
- проходить стажировки на ведущих предприятиях и в российских и зарубежных научно-исследовательских центрах;
- обучаться на аналогичных магистерских программах в ведущих университетах России и мира.

При обучении широко используются интерактивные методы и дистанционные образовательные технологии.

Обучение проводится как в соответствии с основным учебным планом, так и по индивидуальным планам на английском языке, в том числе имеется возможность ускоренного обучения.

Профессиональные навыки. Освоение магистерской программы обеспечивает выпускникам следующие профессиональные навыки:

- способность исследовать информационные системы методами математического моделирования, прогнозирования и системного анализа;
- способность исследовать большие системы современными методами высоко-производительных, распределенных и облачных вычислительных технологий;
- способность применять современные суперкомпьютеры в проводимых исследованиях.
- знание иностранного языка как средства профессиональной коммуникации.

Дополнительные профессиональные компетенции, соответствующие профильной направленности магистерской программы:

- способность разрабатывать, исследовать и применять сложные математические и физические модели для качественного и количественного описания явлений и процессов, разрабатывать для получения результатов нового программного обеспечения;
- способность применять современные методы обработки, анализа, представления и передачи информации, включая интеллектуальный анализ данных и технологии обработки сверхбольших массивов данных;
- способность проектировать и разрабатывать корпоративные информационные системы управления предприятием на основе технологий промышленного распределенного программирования.

Области профессиональной деятельности. Профильная направленность магистерской программы включает следующие области и объекты профессиональной деятельности выпускников.

Области профессиональной деятельности магистров:

- модели физических, информационных, технических и социально-экономических систем, включая математическое, имитационное, функциональное моделирование и системный анализ;
- технологии программирования, в том числе: параллельное, распределенное, генетическое, автоматное, функциональное;
- инженерия программного обеспечения, включая проектирование и производство;

- надежность, производительность и защищенность информационных систем и сетей;
- организационные подходы и формы проведения научных исследований, в том числе их автоматизация.

Объекты профессиональной деятельности магистров:

- объекты информатизации, в том числе: компьютерные, автоматизированные, телекоммуникационные и информационные системы, информационные ресурсы и технологии;
- математические, имитационные, информационные модели систем и процессов;
- методы и инструментальные средства проектирования и реализации программного обеспечения;
- инновации и инновационные процессы в сфере информационно-коммуникационных технологий;
- научно-исследовательские и опытно-конструкторские проекты в области прикладной математики и разработки новых информационных технологий;
- программное и информационное обеспечение компьютерных средств, сетей, информационных систем;
- модели и процессы жизненного цикла информационных систем;
- алгоритмы, библиотеки и пакеты программ;
- стандарты, профили, открытые спецификации, архитектурные методологии для спецификации систем и сервисов информационных технологий.

Траектория поступления. Для поступления на обучение по магистерской про-грамме необходимо иметь документ о базовом физико-математическом образовании и пройти собеседование с учетом индивидуальных достижений. При этом учитываются: наличие опыта научно-исследовательской деятельности (публикации, участие в проектах), опыта практической работы, документы, подтверждающие индивидуальные достижения (дипломы, профессиональные сертификаты, дипломы победителей и призеров олимпиад и конкурсов научных работ, гранты). Предварительно предоставляется резюме.

3. Учебный план

Структура учебного плана магистерской программы представлена в Таблице 1, в которой 1 зачетная единица равна 1 кредиту ECTS и равна 36 часам общей нагрузки, а «*» отмечены основные курсы, определяющие профильную направленность программы.

Таблица 1. Структура учебного плана магистерской программы
«Высокопроизводительные и распределенные системы обработки информации»

Дисциплины (модули)	Семестр	Форма аттестации	Зачетные единицы
Обязательные дисциплины			
Иностранный язык	1	Зачет	4
	2	Экзамен	
История и методология прикладной математики и информатики	1	Зачет	4
	2	Экзамен	
Математическое моделирование*	1	Экзамен	11
	2	Экзамен	
Интеллектуальный анализ данных*	1	Экзамен	9
	2	Зачет	
Инструментальные средства и технологии параллельного программирования*	1	Экзамен	5
Программное обеспечение многопроцессорных вычислительных систем*	1	Зачет	4
Современные методы и алгоритмы решения сложных вычислительных задач на суперкомпьютерах*	2	Экзамен	4
Технологии распределённого программирования*	3	Экзамен	6
Грид-технологии и облачные вычисления*	3	Зачет	4
Дисциплины по выбору			
Архитектуры современных параллельных вычислительных систем	3	Экзамен	4
Теоретические основы телекоммуникаций			
Распределенная обработка данных в современных СУБД	2	Зачет	3
Технологии обработки потоков видеоданных			
Моделирование и анализ параллельных алгоритмов	3	Зачет	4
Методы и средства визуального параллельного программирования, автоматизация программирования			
Проектирование параллельных распределённых приложений	3	Зачет	5
Проектирование программных комплексов			
Научно-исследовательская работа магистра	1	Дифф. зачет	9
	2	Дифф. зачет	8
	3	Дифф. зачет	9
Преддипломная практика	4	Дифф. зачет	18
Государственная итоговая аттестация	4	Защита ВКР	9
Итого			120

4. Содержание основных курсов

4.1. Математическое моделирование

Цель дисциплины – изучение методов разработки, исследования и применения математических моделей физических, химических, биологических и других естественнонаучных и технических объектов, а также социальных и экономических систем

Содержание дисциплины:

Простейшие модели Методы разработки моделей.

Построение математических моделей на основе закона сохранения массы вещества.

Построение математических моделей на основе закона сохранения энергии

Построение математических моделей на основе закона сохранения числа частиц Совместное применение нескольких фундаментальных законов.

Модели трудно формализуемых объектов, примеры аналогий между механическими, термодинамическими и экономическими объектами.

Математические модели в экономике. Модели соперничества.

Статистическое моделирование. Кластеры и фракталы в математическом моделировании.

Системный подход в математическом моделировании. Большие и малые системы. Особенности математического моделирования.

Математические модели нелинейных объектов и процессов.

Исследование качественного поведения систем. Устойчивость динамических систем. Устойчивость периодических решений. Орбитальная устойчивость.

Классификация особых точек. Фазовые портреты консервативных систем. Предельные циклы.

Влияние управляющих параметров на динамику систем. Бифуркации нелинейных динамических систем. Бифуркация смены устойчивости. Динамический хаос.

Асимптотические методы исследования математических моделей. Асимптотические разложения. Элементарная теория возмущений, регулярные и сингулярные возмущения

Декомпозиция моделей разнотемповых систем. Интегральные многообразия и построение упрощенных моделей. Декомпозиция линейных систем. Декомпозиция нелинейных систем

4.2. Интеллектуальный анализ данных

Цель дисциплины – изучение алгоритмов и программных средств анализа данных (Data Mining); изучение инструментальных средств, алгоритмов и программ сбора, хранения, обработки, поиска, анализа и визуализации данных сверхбольшого объёма (Big Data); изучение основных архитектур нереляционных баз данных и получение практических навыков в области использования программной инфраструктуры распределенных вычислений Hadoop.

Содержание дисциплины:

Задачи статистического анализа данных и планирования эксперимента. Входные и выходные факторы.

Методы корреляционно-регрессионного анализа. Свойства МНК-оценок параметров линейной регрессии.

Дисперсионный анализ. Статистика Фишера. SS-технология.

Планирование эксперимента. Критерии оптимальности планов.

Распознавание образов. Линейная и нелинейная классификация.

Методы построения решающих правил при классификации. Метод стохастической аппроксимации. Процедура Роббинса-Монро.

Алгоритмы автоматического обучения и кластеризации. Алгоритм K-внутригрупповых средних.

Основы нейронных сетей. Построение и обучение нейронных сетей. Алгоритм обратного распространения ошибок.

Обзор современных методов Data Mining.

Понятие, проблемы и вызовы больших данных. Определения больших данных, технологии и архитектуры. Новая методология работы с данными. Примеры инновационного использования технологий больших данных.

Основы программной инфраструктуры распределенных вычислений Hadoop. Основные определения Hadoop и распределённая файловая система HDFS. Высокоуровневые средства распределенных вычислений платформы Hadoop – Pig & Hive. Управление ресурсами кластеров и планирование заданий – YARN. Сервис координации процессов распределённых приложений ZooKeeper.

Парадигма распределённых вычислений MapReduce. Базовые алгоритмы и шаблоны проектирования (паттерны) в парадигме MapReduce. Основы разработки MapReduce-приложений в среде Hadoop. Основы вычислений на графах в парадигме MapReduce.

Нереляционные базы данных. Основы распределённых баз данных и CAP-теорема. Основные типы NoSQL-баз данных. Открытая распределённая нереляционная СУБД Hbase. Документо-ориентированная база данных Couchbase.

Основные технологии потоковой обработки данных. Платформа Apache Spark. Платформа Storm. Платформа IBM Streams.

4.3. Инструментальные средства и технологии параллельного программирования

Цель дисциплины – изучение подходов, методологии и средств разработки прикладного программного обеспечения для параллельных вычислительных систем различной архитектуры, специализированных средств разработки параллельных программ.

Содержание дисциплины:

Архитектура параллельных вычислительных систем. Модели параллельного программирования.

Методология проектирования параллельных программ: декомпозиция, коммуникация, интеграция, отображение.

Анализ эффективности параллельных программ.

Программные средства создания параллельных приложений с использованием библиотеки MPI: организация и основные функции, коллективные функции, обеспечение модульности, коммутаторы, виртуальные топологии, использование различных типов данных.

Основные шаблоны параллельного программирования для систем с общей памятью. Базовый подход к процессу оптимизации производительности приложений с использованием средств параллельного программирования. Обзор средств анализа производительности и реализации параллелизма.

Стандарт параллельного программирования OpenMP для систем с общей памятью: принципы и основные составляющие, директивы, библиотека функций, переменные среды.

Инструменты параллельного программирования для систем с общей памятью – библиотека Intel Threading Building Blocks (TBB) и язык параллельного программирования Cilk Plus.

Специализированные средства разработки параллельных программ: ScaLAPACK, PVM, T-система.

4.4. Программное обеспечение многопроцессорных вычислительных систем

Цель дисциплины – изучение программного обеспечения, предназначенного для управления, мониторинга и настройки вычислительных кластерных систем, изучение архитектурных решений и принципов построения больших кластерных систем.

Содержание дисциплины:

Подготовка пользовательского окружения на кластере.

Использование технологии MPI на кластере.

Использование технологии OpenMP на кластере.

Сетевые файловые системы.

Использование NFS.

Мониторинг кластера.

Система пакетной обработки заданий Torque. Настройка и использование Torque.

Типовые задачи администрирования кластеров.

4.5. Современные методы и алгоритмы решения сложных вычислительных задач на суперкомпьютерах

Цель дисциплины – изучение методов и алгоритмов параллельных вычислений для решения задач вычислительной математики и физики.

Содержание дисциплины:

Распараллеливание последовательных программ: распараллеливание ациклических и циклических участков программ, распараллеливание выражений.

Синтез параллельных алгоритмов: восходящий и нисходящий подходы. Характеристики параллельных вычислительных процессов и алгоритмов.

Параллельные алгоритмы матричного перемножения. Параллельные алгоритмы решения систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) общего вида, основанные на итерационных методах. Параллельные алгоритмы решения СЛАУ общего вида, основанные на прямых методах. Параллельные алгоритмы решения СЛАУ с матрицами ленточного вида, основанные на методах встречных прогонок, циклической редукции и декомпозиции области. Параллельные алгоритмы решения СЛАУ с матрицами треугольного вида.

Параллельные алгоритмы решения сеточных уравнений явных разностных схем. Параллельные алгоритмы решения сеточных уравнений неявных разностных схем. Случай линейной декомпозиции сеточной области. Случай циклической декомпозиции сеточной области.

Разностное решение уравнений Максвелла методом декомпозиции сеточной области.

Решение задач компьютерной оптики на графических вычислительных устройствах (GPU).

4.6. Технологии распределённого программирования

Цель дисциплины – изучение особенностей распределённых программных систем уровня предприятия и принципов их реализации в рамках технологии Java Enterprise Edition, изучение принципов разработки программного обеспечения и сопутствующих технологий.

Содержание дисциплины:

Распределённые программные системы.

Модель JavaEE.

Основы языка Java.

Вспомогательные технологии разработки.

XML, JNDI, JDBC, Servlets, JSP, EJB 2, Session Beans, Entity Beans, MDB, Hibernate, EJB 3, Entity Persistence, JSF, Web Services, JTA, RUP.

4.7. Грид-технологии и облачные вычисления

Цель дисциплины – изучение современного состояния вычислительных кластерных систем, грид-систем, облачных вычислений, архитектурных решений и принципов построения больших вычислительных систем.

Содержание дисциплины:

Распределенные системы. Кластерные и суперкомпьютерные вычисления.

Основы грид-технологий и облачных вычислений. Взаимодействие моделей грид-вычислений и облачных вычислений. Совместимость грид и облака. Моделирование и симуляция облаков и грид.

Уровни и типы облачных вычислений. Виртуализация. Интернет сервисы и сервис-ориентированная архитектура. Стандарты облачных вычислений. Безопасность облачных вычислений. Платформы облачных вычислений. Облачные сервисы Google и Amazon.

Вычисления, интенсивные по данным. Системы хранения данных. Разделенные, распределенные и параллельные файловые системы. Параллельный ввод/вывод.

Спецификация MPI.

Спецификация OpenMP.

Технология MapReduce, особенности технологии.

Распределенная файловая система Hadoop. Программирование в системе Hadoop.

Схемы MapReduce в обработке изображений и в нанооптике.

Облачные вычисления для GPU систем

Интеграция гибридных вычислительных ресурсов на основе облачных сред.

5. Ресурсное обеспечение

5.1. Вычислительное оборудование

5.1.1. Суперкомпьютер «Сергей Королев»

Производитель: IBM.

Основные технические характеристики:

- общее число серверов/процессоров/вычислительных ядер: 179/360/1952;
- общее число графических процессоров/ядер: 5/4288;
- общая оперативная память: 5018 ГБ;
- тип системной сети: QLogic/Voltaire InfiniBand DDR, QDR;
- тип управляющей вспомогательной сети: Gigabit Ethernet;
- операционная система: Red Hat Enterprise Linux 5.11;
- пиковая производительность 30 Тфлопс.

Назначение: проведение научных исследований и подготовка кадров мирового уровня с использованием научно-образовательных суперкомпьютерных и грид технологий, в том числе в сфере нанотехнологий, создание конкурентоспособных образцов новой техники.



Рис. 4. Суперкомпьютер «Сергей Королев».

5.1.2. Многомашинный вычислительный комплекс (кластер) для осуществления параллельных и распределённых вычислений и хранения результатов.

Производители: Super Micro Computer Inc., Mellanox Technologies Inc., Hewlett-Packard Enterprise.

Технические характеристики вычислительного кластера:

- - количество вычислительных узлов – 46;
- - количество вычислительных ядер CPU – 1264;
- - GPU-ускорители – NVidia Kepler K40m - 3;
- - акселераторы – Intel Xeon Phi 7120P – 3;
- - суммарный объем оперативной памяти – 11,5 ТБ;
- - суммарный объем памяти на жестких дисках – 140 ТБ;
- - пиковая производительность суперкомпьютера – 30 Тфлопс.

Назначение: решение вычислительных задач в рамках квантово-механических расчетов с помощью специализированных программ VASP, Crystal, Wien2k, Siesta, Quantum Espresso, GAUSSIAN09, LAMMPS, CP2K, обеспечение хранения результатов вычислений.



Рис. 5. Многомашинный вычислительный комплекс (кластер) для осуществления параллельных и распределённых вычислений и хранения результатов.

5.1.3. Вычислительный кластер HP

Производитель: Hewlett Packard.

Кластерная система в конструктиве HP BLc3000 Twr CTO Enclosure построена на базе управляющего сервера HP ProLiant BL260c и семи вычислительных блейд-серверов HP ProLiant 2xBL220c. Пиковая производительность кластера около 1.5 ТФлопс.

Вычислительный кластер используется для решения задач моделирования и проектирования наноструктур, нелинейного оптического моделирования, распределенной обработки и хранения файлов изображений сверхвысокого разрешения.



Рис. 6. Вычислительный кластер HP.

5.1.4. Универсальный компактный суперкомпьютер КС-ЭВМ 1

Производитель: Федеральный ядерный центр в Сарове (РФЯЦ-ВНИИЭФ).

Универсальный суперкомпьютер предназначен для широкого спектра инженерных задач. Его пиковая производительность составляет 1.1 Тфлопс на арифметических операциях двойной точности. Суперкомпьютер построен на базе двенадцатиядерных процессоров AMD и включает три четырехsocketных материнских платы. Таким образом, система содержит 144 процессорных ядра. На каждой материнской плате установлено по 128 Гб оперативной памяти, всего общей памяти 384 Гб. В качестве высокоскоростной коммуникационной среды для передачи межпроцессных сообщений используется безкоммутаторное соединение InfiniBand адаптеров.



Рис. 7. Компактный суперкомпьютер КС-ЭВМ 1.

5.2. Системы хранения данных

Системы хранения данных состоят из серверов, дисковых хранилищ и сетевой инфраструктуры для высокопроизводительных систем.

Текущая конфигурация системы хранения данных состоит из:

- IBM DS3400 ёмкостью 7,2 ТБ, подключена к кластеру «Сергей Королев»;
- IBM DS3524 ёмкостью 43,2 ТБ, используется в задачах виртуализации и облачных вычислений;
- IBM DS3512 ёмкостью 7,2 ТБ (2 шт.), подключены к кластеру «Сергей Королев»;
- EMC CLARiiON CX300 ёмкостью 6,2 ТБ, расположена в корпусе научно-технической библиотеки;
- T-Platforms ReadyStorage SAN6998 с объёмом дисковой памяти до 112 Тб, расположена в научном корпусе.

Для обеспечения возможности одновременного высокоскоростного доступа к файлам для приложений, выполняющихся одновременно на нескольких узлах кластера, используется параллельная файловая система IBM GPFS. Сервис параллельной файловой системы организован на двух дисковых хранилищах IBM DS3512, двух FibreChannel коммутаторах IBM и серверах IBM x3650 M3. Конфигурация системы хранения разработана для максимизации производительности операций чтения/записи. В результате тестовых испытаний достигнуты: скорость последовательной записи в файл с одного узла до 2 Гбайт/с, скорость последовательного чтения файла с одного узла до 2,8 Гбайт/с.

5.3. Программно-аппаратный комплекс для обработки данных сверхбольшого объёма (Big Data)

Производитель: IBM.

Программно-аппаратный комплекс для обработки структурированных и неструктурированных данных сверхбольшого объёма (Big Data) состоит из двух подсистем, объединённых высокоскоростной коммуникационной средой (10Gb):

- специализированный программно-аппаратный комплекс (подсистема) хранения и аналитического анализа структурированных данных IBM Puredata for Analytics (Netezza) с объёмом полностью реплицируемого дискового пространства не менее 96Тбайт (с учетом 4-х кратного сжатия данных);



Рис. 8. Программно-аппаратный комплекс для обработки данных сверхбольшого объёма (Big Data).

- комплекс серверов IBM System X для подсистемы распределённого хранения и аналитической обработки неструктурированных данных с использованием стека программных технологий Hadoop (, в т.ч. сервер управления IBM x3630 M4 (два процессора Intel Xeon Processor E5-2450v2; 96 Гбайт памяти; 2 диска по 600ГБ)

и четыре сервера обработки данных IBM x3630 M4 (два процессора Intel Xeon Processor E5-2450v2; 96 Гбайт оперативной памяти; 8ТВ дисковой памяти).

Для доступа к программно-аппаратному комплексу Big Data развёрнут специализированный учебный класс на базе 8 компьютеров.

5.4. Программное обеспечение

Intel® Cluster Studio XE for Linux (2014) – комплект инструментов, предназначенный для создания, анализа и оптимизации высокопроизводительных приложений в кластерах систем на базе процессоров Intel. Включает в себя:

- C++ Compiler;
- Fortran Compiler;
- MPI Library;
- Math Kernel Library (MKL);
- Debugger;
- Trace Analyzer and Collector;
- Threading Building Blocks (Intel® TBB);
- Integrated Performance Primitives (Intel® IPP).

Intel® Parallel Studio XE Cluster Edition for Linux (2016) – комплект инструментов, предназначенный для создания, анализа и оптимизации высокопроизводительных приложений в кластерах систем на базе процессоров Intel. Включает в себя:

- C/C++ compiler;
- Fortran Compiler;
- Data Analytics Acceleration library (C++, Java);
- Math library (Intel MKL) (C++, Fortran);
- TBB Threading library (C++);
- IPP Media and data library (C++);
- Intel Distribution for Python;
- Intel Advisor thread design and prototype (C++, Fortran);
- Intel Inspector memory and threading debugging (C++, Fortran);
- VTune Amplifier performance profiler (C++, Fortran, C#, Java);
- MPI library (C++, Fortran);
- ITAC MPI analyzer and profiler (C++, Fortran).

CUDA – платформа параллельных вычислений от NVIDIA, позволяющая существенно увеличить вычислительную производительность благодаря использованию GPU (графических процессоров).

TORQUE – система пакетной обработки заданий.

Templet Web – система управления задачами кластера «Сергей Королёв». Система предназначена для проведения лабораторных занятий и исследовательских работ с использованием веб-браузера. Система обеспечивает:

- запуск вычислительных задач на кластере «Сергей Королёв» под контролем преподавателя;
- редактирование кода программ непосредственно в браузере;
- визуализацию результатов вычислений в табличной форме и в форме графиков;
- создание приложений для вычислений с использованием технологий OpenMP и MPI из готовых примеров;
- хранение кодов приложений и результатов вычислений с возможностью коллективного доступа.

6. Научно-исследовательская работа магистра

Мировой уровень научно-исследовательской работы магистрантов обеспечивается как хорошей материально-технической базой, так и большим научным заделом и высокой квалификацией ведущих преподавателей.

За последние годы получены и опубликованы результаты как в области моделирования и проектирования сложных элементов компьютерной оптики и нанофотоники [39-53], получение которых было бы невозможно без использования высокопроизводительных вычислений [54,55], так и в области создания собственно технологий распределенной высокопроизводительной обработки данных на суперкомпьютерах [56], гибридных вычислительных системах [57] и облачных средах [58,59] для проведения фундаментальных исследований в области обработки изображений [60], геоинформатики и нанофотоники [61], разработки новых интеллектуальных систем компьютерного зрения.

В частности, можно отметить оригинальные алгоритмы разностного решения волнового уравнения, основанные на переходе к "длинным" векторам, и развитие метода пирамид для решения сеточных уравнений схем Yee на графических процессорах [62]. Сформулированные численные методы направлены на решение двух основных взаимосвязанных проблем отображения алгоритмов решения сеточных уравнений на архитектуру графических процессоров: полного использования постоянно увеличивающегося количества вычислительных потоков графических процессоров при ограничениях на объем видеопамати.

Неизменный интерес у магистрантов вызывают работы по созданию информационных технологий анализа изображений в задачах медицинской диагностики [63,64] и технологий оперативного построения цифровых моделей местности по радиолокационным [65-67] и аэрокосмическим данным [68] и разработка алгоритмов оперативного распознавания объектов на видеопоследовательностях [69,70], исследования в области интеллектуального анализа и распределённых технологий обработки сверхбольшого объёма неструктурированных данных [71] применительно к видеопотокам [72,73], изображениям электронной микроскопии [61,74], гиперспектральной [75-80] и визуальной информации, получаемой при дистанционном зондировании Земли [81].

Разработаны технология визуального (графосимволического) программирования для моделирования вычислительных (в том числе параллельных) алгоритмов [82,83], эффективные параллельные алгоритмы глобальной оптимизации функций многих переменных [84-86], оригинальные методы тестирования программных вычислительных модулей [87,88]. Разработан программный комплекс Templet Web (templet.ssau.ru/app) для автоматизации высокопроизводительных вычислений [89-92].

Магистрантам предоставляется возможность оперативной публикации своих результатов в научном журнале "Компьютерная оптика" [93], издаваемого научной школой академика В.А. Соифера [94]. По оценкам Скопус "Компьютерная оптика" входит [95] в лучшую половину журналов, индексируемых в этой библиометрической базе данных, по трем основным направлениям журнала: 1) физика, оптика (Atomic and Molecular Physics, and Optics); 2) информационные технологии (Computer Science Applications); 3) электроника (Electrical and Electronic Engineering). Также магистранты имеют возможность представить свои результаты на ежегодной Международной конференции "Информационные технологии и нанотехнологии" (ИТНТ), труды которой индексируются в базе Скопус. В рамках этой конференции проводится молодежная школа, на которой участники имеют возможность прослушать лекции ведущих отечественных и иностранных ученых.

Магистранты могут принять участие в совместных исследованиях, выполняемых научной школой академика В.А. Соифера в кооперации с ведущими школами России и мира в области высокопроизводительных вычислений. Преподаватели Самарского университета ведут совместные исследования с учеными Нижегородского государственного университета имени Н.И. Лобачевского [96], Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Уфимского государственного авиационного технического университета [97] и др. Международная кооперация осуществляется с учеными Великобритании, США [98], Канады, Германии, Индии [81] и многих других стран.

Успешно занимающиеся научными исследованиями магистранты финансово поддерживаются за счет грантов Российского научного фонда, Российского фонда фундаментальных исследований, в рамках проектов Федеральных целевых программ и хозяйственных договоров с промышленными предприятиями и ИТ-компаниями.

Выпускники магистратуры могут продолжить обучение в аспирантуре Самарского университета по направлению «Информатика и вычислительная техника» (профили 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ; 05.13.17 – Теоретические основы информатики; 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации; 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления; 05.13.12 – Системы автоматизации проектирования) и защитить кандидатские и докторские диссертации по соответствующим специальностям в успешно работающих в университете диссертационных советах.

С 2015 года в Самарском университете действует Положение о подготовке докторов философии (PhD) и имеется возможность защиты на получение степени PhD Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева.

7. Заключение

Приглашаем на факультет информатики Самарского университета для получения образования мирового уровня по магистерской программе «Высокопроизводительные и распределенные системы обработки информации».

Контактная информация: kazansky@smr.ru, kolomietsei@mail.ru.

Литература

- [1] Kolomiets, E.I. Analysis of the scientific and organizational results of the Image Processing Systems Institute of the RAS / E.I. Kolomiets // CEUR Workshop Proceedings. – 2015. – Vol. 1490. – P. 309-326.
- [2] Sokolov, V.O. On the 70th birthday of corresponding member of the Russian academy of sciences Victor A. Soifer / V.O. Sokolov // CEUR Workshop Proceedings. – 2015. – Vol. 1490. – P. 1-8.
- [3] Soifer, V.A. Diffractive Nanophotonics and Advanced Information Technologies / V.A. Soifer // Herald of the Russian Academy of Sciences. – 2014. – Vol. 84(1). – P. 9-18. – DOI: 10.1134/S1019331614010067.
- [4] Soifer, V.A. Field processing algorithm that uses linear channel estimates / V.A. Soifer // Problems of Information Transmission. – 1975. – Vol. 11(3). – P. 256-258.
- [5] Sergeev, V.V. Imitation model of images and data compression method / V.V. Sergeev, V.A. Soifer // Automatic Control and Computer Sciences. – 1978. – Vol. 12(3). – P. 75-77.
- [6] Обработка изображений в автоматизированных системах научных исследований // В.А. Виттих, В.В. Сергеев, В.А. Соифер. – М.: Наука, 1982. – 215 с.
- [7] Методы компьютерной оптики / А.В. Волков, Д.Л. Головашкин, Л.Л. Досколович, Н.Л. Казанский, В.В. Котляр, В.С. Павельев, Р.В. Скиданов, В.А. Соифер, В.С. Соловьев, Г.В. Успенцев, С.И. Харитонов, С.Н. Хонина, под ред. В.А. Соифера. – М.: Физматлит, 2000. – 688 с. – ISBN 978-5-9221-0434-0.
- [8] Методы компьютерной обработки изображений / М.В. Гашиников, Н.И. Глумов, Н.Ю. Ильясова, В.В. Мясников, С.Б. Попов, В.В. Сергеев, В.А. Соифер, В.А. Фурсов, А.Г. Храмов, В.М. Чернов, под ред. В.А. Соифера. – М.: Физматлит, 2001. – 784 с. – ISBN 5-9221-0180-3.

- [9] *Methods for Computer Design of Diffractive Optical Elements* / L.L. Doskolovich, D.L. Golovashkin, N.L. Kazanskiy, S.N. Khonina, V.V. Kotlyar, V.S. Pavelyev, R.V. Skidanov, V.A. Soifer, V.S. Solov'yev, G.V. Usplen'yev, A.V. Volkov, ed. by V.A. Soifer. – John Wiley & Sons, Inc. USA. – 2002. – 765 p. – ISBN 0-471-09533-8.
- [10] *Методы компьютерной обработки изображений / Под редакцией В.А. Соифера – Издание 2-ое исправленное. – М.: Физматлит. – 2003. – 784 с.*
- [11] Казанский, Н.Л. Математическое моделирование оптических систем. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та. – 2005. – 240 с. - ISBN 5-7883-0379-6.
- [12] Казанский, Н.Л. Процедура корректировки фазовой функции фокусатора по результатам вычислительного эксперимента / Н.Л. Казанский // *Компьютерная оптика. – 1987. – Вып. 1. – С. 90-96.*
- [13] Голуб, М.А. Вычислительный эксперимент с элементами плоской оптики / М.А. Голуб, Н.Л. Казанский, И.Н. Сисакян, В.А. Соифер // *Автометрия. – 1988. – № 1. – С. 70-82.*
- [14] Казанский, Н.Л., Полетаев С.Д. Численное моделирование процесса абляции тонких пленок молибдена под действием лазерного излучения // *Журнал технической физики. – 2016. – Том 86, № 9. – С. 1-6.*
- [15] Казанский, Н.Л. Оптимизация параметров инжекционного литья мультиминиз из термопластичных полимеров / Н.Л. Казанский, И.С. Степаненко, А.И. Хаймович, С.В. Кравченко, Е.В. Бызов, М.А. Моисеев // *Компьютерная оптика. – 2016. – Т. 40, № 2. – С. 203-214. – DOI: 10.18287/2412-6179-2016-40-2-203-214.*
- [16] Казанский, Н.Л., Серафимович П.Г. Использование инфраструктуры облачных вычислений для моделирования сложных нанопотонных структур // *Компьютерная оптика. – 2011. – Том 35, № 3. – С. 320-328.*
- [17] Казанский, Н.Л. Распределенная система технического зрения регистрации железнодорожных составов / Н.Л. Казанский, С.Б. Попов // *Компьютерная оптика. – 2012. – Том 36, № 3. – С.419-428.*
- [18] Казанский, Н.Л., Самолинова Е.Б. Комплекс программ анализа дифракционных характеристик фокусаторов // *Компьютерная оптика. – 1989. – № 5. – С.38-43.*
- [19] Golub, M.A. Computer generated diffractive multi-focal lens / M.A. Golub, L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy, S.I. Kharitonov, V.A. Soifer // *Journal of Modern Optics. – 1992. – Vol. 39(6). – P. 1245-1251.*
- [20] Казанский, Н.Л. Исследование дифракционных характеристик фокусатора в кольцо методом вычислительного эксперимента // *Компьютерная оптика. – 1992. – № 10-11. – С.128-144.*
- [21] Kazanskiy, N.L., Kotlyar, V.V., Soifer, V.A. Computer-aided design of diffractive optical elements // *Optical Engineering. – 1994. – Vol. 33, № 10. – P. 3156-3166.*
- [22] Kazanskiy, N.L. Diffraction investigation of geometric-optical focusators into segment / N.L. Kazanskiy, V.A. Soifer // *Optik - International Journal for Light and Electron Optics. – 1994. – Vol. 96(4). – P. 158-162.*
- [23] Kotlyar, V.V. Algorithm for the generation of non-diffracting Bessel modes / V.V. Kotlyar, S.N. Khonina, V.A. Soifer // *Journal of Modern Optics. – 1995. – Vol. 42(6). – P. 1231-1239.*
- [24] Doskolovich, L.L. Software on diffractive optics and computer generated holograms / L.L. Doskolovich, M.A. Golub, N.L. Kazanskiy, A.G. Khranov, V.S. Pavelyev, P.G. Seraphimovich, V.A. Soifer, S.G. Volotovskiy // *Proceedings of SPIE. – 1995. – Vol. 2363. – P. 278-284.*
- [25] Kazanskiy, N.L. Application of a pseudogeometrical optical approach for calculation of the field formed by a focusator / N.L. Kazanskiy, S.I. Kharitonov, V.A. Soifer // *Optics & Laser Technology. – 1996. – Vol. 28(4). – P. 297-300.*
- [26] Бородин, С.А., Волков, А.В., Казанский, Н.Л. Устройство для анализа нанощероховатостей и загрязнений подложки по динамическому состоянию капли жидкости, наносимой на ее поверхность // *Оптический журнал. – 2009. – Том 76, № 7. – С. 42-47.*
- [27] Kazanskiy, N. L. Machine Vision System for Singularity Detection in Monitoring the Long Process / N. L. Kazanskiy and S. B. Popov // *Optical Memory and Neural Networks (Information Optics). – 2010. – Vol. 19, No. 1. – P. 23-30.*
- [28] Kazanskiy, N.L. Integrated Design Technology for Computer Vision Systems in Railway Transportation / N. L. Kazanskiy, S. B. Popov // *Pattern Recognition and Image Analysis. – 2015. – Vol. 25, No.2. – P. 215-219.*
- [29] Казанский, Н.Л. Исследовательско-технологический центр дифракционной оптики / Н.Л. Казанский // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т. 13, № 4. – С. 54-62.*
- [30] Kazanskiy, N.L. Research and Education Center of Diffractive Optics // *Proceedings of SPIE. – 2012. – Vol. 8410. – P. 84100R. – DOI: 10.1117/12.923233.*
- [31] Волотовский, С.Г., Казанский, Н.Л., Павельев, В.С. Программное обеспечение для итерационного расчета и исследования ДОО // *Компьютерная оптика. – 1997. – № 17. – С. 48-53.*
- [32] Волотовский, С.Г., Казанский, Н.Л., Серафимович, П.Г., Харитонов, С.И. Программный комплекс для расчета дифракционных оптических элементов с использованием высокоскоростных вычислительных средств // *Компьютерная оптика. – 2001. – № 22. – С. 75-79.*
- [33] Головашкин, Д.Л., Казанский, Н.Л., Сафина, В.Н. Применение метода конечных разностей для решения задачи дифракции Н-волны на двумерных диэлектрических решетках // *Компьютерная оптика. – 2003. – № 25. – С. 36-40.*
- [34] Головашкин, Д.Л., Казанский, Н.Л. Методика формирования падающей волны при разностном решении уравнений Максвелла. Одномерный случай // *Автометрия. – 2006. – Т. 42, № 6. – С.78-85.*
- [35] Головашкин, Д.Л., Казанский, Н.Л. Декомпозиция сеточной области при разностном решении уравнений Максвелла // *Математическое моделирование. – 2007. – Т. 19, № 2. – С. 48-58.*
- [36] Головашкин, Д.Л., Казанский, Н.Л. Методика формирования падающей волны при разностном решении уравнений Максвелла. Двумерный случай // *Автометрия. – 2007. – Т. 43, № 6. – С.78-88.*
- [37] Golovashkin, D.L., Kazanskiy, N.L. Mesh Domain Decomposition in the Finite-Difference Solution of Maxwell's Equations // *Optical Memory & Neural Networks (Information Optics). – 2009. – Vol. 18, № 3. – P. 203-211.*
- [38] Просочкин, А.С. 70 лет профессору Владимиру Алексеевичу Фурсову / А.С. Просочкин // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015. – Т. 17, № 2. – С. 248-253.*
- [39] Kazanskiy, N.L., Serafimovich, P.G., Khonina, S.N. Harnessing the Guided-Mode Resonance to Design Nanooptical Transmission Spectral Filters // *Optical Memory and Neural Networks (Information Optics). – 2010. – Vol. 19, No. 4. – P. 318-324.*
- [40] Хонина, С.Н., Казанский, Н.Л., Устинов, А.В., Волотовский, С.Г. Линзакон: непараксиальные эффекты // *Оптический журнал. – 2011. – Т. 78, № 11. – С. 44-51.*
- [41] Казанский, Н.Л., Харитонов, С.И. О прохождении пространственно-ограниченных широкополосных радиально-симметричных сфокусированных импульсов через тонкую плёнку // *Компьютерная оптика. – 2012. – Т. 36, № 1. – С. 4-13.*
- [42] Казанский, Н.Л., Хонина, С.Н., Харитонов, С.И. Теория возмущений для уравнения Шрёдингера в периодической среде в квазиимпульсном представлении // *Компьютерная оптика. – 2012. – Т. 36, № 1. – С. 21-26.*
- [43] Казанский, Н.Л., Харитонов, С.И., Хонина, С.Н. Совместное решение уравнения Клейна-Гордона и системы уравнений Максвелла // *Компьютерная оптика. – 2012. – Т. 36, № 4. – С. 518-526.*
- [44] Bykov, D.A. Extraordinary Magneto-Optical Effect of a Change in the Phase of Diffraction Orders in Dielectric Diffraction Gratings / D.A. Bykov, L.L. Doskolovich, V.A. Soifer, N.L. Kazanskiy // *Journal of Experimental and Theoretical Physics. – 2010. – Vol. 111(6). – P. 967-974.*
- [45] Kazanskiy, N.L., Serafimovich, P.G., Khonina, S.N. Use of photonic crystal cavities for temporal differentiation of optical signals // *Optics Letters. – 2013. – Vol. 38, No. 7. – P. 1149-1151.*

- [46] Kazanskiy, N.L., Serafimovich, P.G. Coupled-resonator optical waveguides for temporal integration of optical signals // *Optics Express*. – 2014. – Vol. 22, Iss. 11. - P. 14004–14013.
- [47] Golovastikov, N.V. Spatial optical integrator based on phase-shifted Bragg gratings / N.V. Golovastikov, D.A. Bykov, L.L. Doskolovich, E.A. Bezus // *Optics Communications*. – 2015. – Vol. 338. – P. 457-460. – DOI: 10.1016/j.optcom.2014.11.007.
- [48] Khonina, S.N. Influence of Vortex Transmission Phase Function on Intensity Distribution in the Focal Area of High-Aperture Focusing System / S.N. Khonina, N.L. Kazanskiy, S.G. Volotovskiy // *Optical Memory and Neural Networks (Information Optics)*. – 2011. – Vol. 20(1). – P. 23–42. – DOI: 10.3103/S1060992X11010024.
- [49] Aslanov, E. R. Design of an optical element forming an axial line segment for efficient LED lighting systems / E.R. Aslanov, L.L. Doskolovich, M.A. Moiseev, E. A. Bezus, N. L. Kazanskiy // *Optics Express*. – 2013. – Vol. 21(23). – P. 28651-28656.
- [50] Doskolovich, L.L., Borisova, K.V., Moiseev, M.A., Kazanskiy, N.L. Design of mirrors for generating prescribed continuous illuminance distributions on the basis of the supporting quadric method // *Applied Optics*. – 2016. – Vol. 55, No. 4. - P. 687-695. - DOI: 10.1364/AO.55.000687.
- [51] Doskolovich, L.L., Andreev, E.S., Kharitonov, S.I., Kazanskiy, N.L. Reconstruction of an optical surface from a given source-target map // *Journal of the Optical Society of America A*. – 2016. – Vol. 33, Issue 8. - P. 1504-1508. - DOI: 10.1364/JOSAA.33.001504.
- [52] Kazanskiy, N.L. Asymptotic research in computer optics // *CEUR Workshop Proceedings*. – 2015. – Vol. 1490. - P. 151-161. - DOI: 10.18287/1613-0073-2015-1490-151-161.
- [53] Казанский, Н.Л., Хонина, С.Н., Скиданов, Р.В., Морозов, А.А., Харитонов, С.И., Волотовский, С.Г. Формирование изображений дифракционной многоуровневой линзой // *Компьютерная оптика*. – 2014. – Т. 38, № 3. - С. 425-434.
- [54] Оценка производительности приложений параллельной обработки изображений / Волотовский С.Г., Казанский Н.Л., Попов С.Б., Серафимович П.Г. // *Компьютерная оптика*. – 2010. – Т. 34, № 4. - С. 567-572.
- [55] Серафимович, П.Г., Степихова, М.В., Казанский, Н.Л., Гусев, С.А., Егоров, А.В., Скороходов, Е.В., Красильник, З.Ф. Фотонно-кристаллический резонатор ближнего ИК диапазона на кремнии: численное моделирование и технология формирования // *Физика и техника полупроводников*. – 2016. – Т. 50, № 8. - С. 1133-1137.
- [56] Параллельные алгоритмы решения сеточных уравнений / Д.Л. Головашкин, Н.Л. Казанский, Д.Г. Воронникова, А.В. Кочуров, Л.В. Логанова, С.А. Малышева, под ред. Н.Л. Казанского. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та. - 2013. – 146 с. – ISBN: 978-5-88940-115-5.
- [57] Golovashkin, D.L., Kasanskiy, N.L. Solving Diffractive Optics Problem using Graphics Processing Units // *Optical Memory and Neural Networks (Information Optics)*. – 2011. - Vol. 20, No. 2. - P. 85–89.
- [58] Kazanskiy, N.L., Serafimovich, P.G. Cloud Computing for Rigorous Coupled-Wave Analysis // *Advances in Optical Technologies*. – 2012. - Vol. 2012, Article ID 398341. - DOI:10.1155/2012/398341.
- [59] Kazanskiy, N.L., Serafimovich, P.G. Cloud Computing for Nanophotonic Simulations // *Lecture Notes in Computer Science*. – 2013. - Vol. 7715. -P. 54-67.
- [60] Kazanskiy, N.L., Popov, S.B. Distributed storage and parallel processing for large-size optical images / Nikolay L. Kazanskiy and Sergey B. Popov // *Proceeding of SPIE*. – 2012. – Vol. 8410. – P. 84100L. DOI:10.1117/12.928441.
- [61] Soifer, V.A. Analysis and recognition of the nanoscale images: Conventional approach and novel problem statement / V.A. Soifer, A.V. Kupriyanov // *Computer Optics*. – 2011. – Vol. 35(2). – P. 136-144.
- [62] Малышева, С.А. Реализация разностного решения уравнений Максвелла на графическом процессоре методом пирамид / С.А. Малышева, Д.Л. Головашкин // *Компьютерная оптика*. – 2016. – Т. 40, № 2. – С. 179-187. – DOI: 10.18287/2412-6179-2016-40-2-179-187.
- [63] Ильясова, Н.Ю., Казанский, Н.Л., Корепанов, А.О., Куприянов, А.В., Устинов, А.В., Храмов, А.Г. Компьютерная технология восстановления пространственной структуры коронарных сосудов по ангиографическим проекциям // *Компьютерная оптика*. – 2009. – Т. 33, № 3. - С. 281-317.
- [64] Ильясова, Н.Ю., Куприянов, А.В., Храмов, А.Г. Информационные технологии анализа изображений в задачах медицинской диагностики. – М.: Радио и связь. – 2012. – 424 с. – ISBN 5-89776-014-4.
- [65] Жердев, Д.А., Казанский, Н.Л., Фурсов, В.А. Распознавание объектов по диаграммам рассеяния электромагнитного излучения на основе метода опорных подпространств // *Компьютерная оптика*. – 2014. – Т. 38, № 3. - С. 503-510.
- [66] Жердев, Д.А., Казанский, Н.Л., Фурсов, В.А. Распознавание объектов на радиолокационных изображениях с использованием показателей сопряженности и опорных подпространств // *Компьютерная оптика*. – 2015. – Т. 39, № 2. - С. 255-264.
- [67] Fursov, V.A. Support subspaces method for synthetic aperture radar automatic target recognition / V.A. Fursov, D. Zherdev, N.L. Kazanskiy // *International Journal of Advanced Robotic Systems*. – 2016. – Vol. 13(5). – P. 1-11. – DOI: 10.1177/1729881416664848.
- [68] Kazanskiy, N.L., Serafimovich, P.G., Zimichev, E.A. Spectral-spatial classification of hyperspectral images with k-means++ partitional clustering // *Proceedings of SPIE*. – 2015. - Vol. 9533. – P. 95330M, - DOI: 10.1117/12.2180543.
- [69] Проценко, В.И. Анализ параметров систем детектирования множественных визуальных объектов в режиме реального времени / В.И. Проценко, Н.Л. Казанский, П.Г. Серафимович // *Компьютерная оптика*. – 2015. – Т. 39, № 4. – С. 582-591.
- [70] Performance analysis of sliding window filtering of two dimensional signals based on stream data processing systems / Nikolay Kazanskiy, Vladimir Protzenko, Pavel Serafimovich // *Proceedings of SPIE*. – 2016. - Vol. 9807. – P. 98070Z. – DOI: 10.1117/12.2231384.
- [71] Popov, S.B. The Big Data methodology in computer vision systems // *CEUR Workshop Proceedings*. – 2015. – Vol. 1490. - P. 420-425. DOI: 10.18287/1613-0073-2015-1490-420-425.
- [72] Казанский, Н.Л. Сравнение производительности систем потокового анализа данных в задаче обработки изображений скользящим окном / Н.Л. Казанский, В.И. Проценко, П.Г. Серафимович // *Компьютерная оптика*. – 2014. – Т. 38, № 4. – С. 804-810.
- [73] Protzenko, V.I. Software and hardware infrastructure for data stream processing / Protzenko V.I., Seraphimovich P.G., Popov S.B., Kazanskiy N.L. // *CEUR Workshop Proceedings*. – 2016. - Vol. 1638. - P. 782-787. DOI: 10.18287/1613-0073-2016-1638-782-787.
- [74] But, M.A. Modelling of multilayer dielectric filters based on TiO₂/SiO₂ and TiO₂/MgF₂ for fluorescence microscopy imaging / M.A. But, S.A. Fomchenkov, A. Ullach, M. Habib, R.Z. Ali // *Computer Optics*. – 2016. – Vol. 40, № 5. – P. 674-678. – DOI: 10.18287/2412-6179-2016-40-5-674-678.
- [75] Казанский, Н.Л. Моделирование гиперспектрометра на спектральных фильтрах с линейно-изменяющимися параметрами / Н.Л. Казанский, С.И. Харитонов, С.Н. Хонина, С.Г. Волотовский, Ю.С. Стрелков // *Компьютерная оптика*. – 2014. – Т. 38, № 2. – С. 256-270.
- [76] Казанский, Н.Л. Моделирование работы гиперспектрометра, основанного на схеме Оффнера, в рамках геометрической оптики / Н.Л. Казанский, С.И. Харитонов, А.В. Карсаков, С.Н. Хонина // *Компьютерная оптика*. – 2014. – Т. 38, № 2. – С. 271-280.
- [77] Казанский, Н.Л. Моделирование работы космического гиперспектрометра, основанного на схеме Оффнера / Н.Л. Казанский, С.И. Харитонов, Л.Л. Досколович, А.В. Павельев // *Компьютерная оптика*. – 2015. – Т. 39, № 1. – С. 70-76.
- [78] Kazanskiy, N. L., Kharitonov, S. I., Khonina, S. N., Volotovskiy, S. G. Simulation of spectral filters used in hyperspectrometer by decomposition on vector Bessel modes // *Proceedings of SPIE*. – 2015. - Vol. 9533. – P. 95330L. - DOI: 10.1117/12.2183429.
- [79] Зимичев, Е.А. Пространственная классификация гиперспектральных изображений с использованием метода кластеризации k-means++ / Е.А. Зимичев, Н.Л. Казанский, П.Г. Серафимович // *Компьютерная оптика*. – 2014. – Т. 38, № 2. – С. 281-286.
- [80] Nikonov, A. Correcting color and hyperspectral images with identification of distortion model / A. Nikonov, S. Bibikov, V. Myasnikov, Y. Yuzifovich, V. Fursov // *Pattern Recognition Letters*. – 2016. – Vol. 83. – P. 178-187. – DOI: 10.1016/j.patrec.2016.06.027.
- [81] Boori, M.S. Vulnerability analysis on Hyderabad city, India / M.S. Boori, K. Choudhary, A.V. Kupriyanov // *Computer Optics*. – 2016. – Vol. 40, № 5. – P. 752-758. – DOI: 10.18287/2412-6179-2016-40-5-752-758.

- [82] Коварцев, А.Н., Жидченко, В.В. Методы и средства визуального параллельного программирования. Автоматизация программирования: учебник - Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та. - 2011. – 168 с. - ISBN 978-5-7883-0909-5.
- [83] Коварцев, А.Н. Онтологический аспект модели вычислений графосимволического программирования // Онтология проектирования. - 2012. - № 3. - С. 38-48.
- [84] Коварцев, А.Н., Попова-Коварцева, Д.А., Аболмасов, П.В. Исследование эффективности глобальной параллельной оптимизации функций многих переменных // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. - 2013. - № 3-1. - С. 252-261.
- [85] Коварцев, А.Н., Попова-Коварцева, Д.А. Многомерный параллельный алгоритм глобальной оптимизации модифицированным методом половинных делений // В мире научных открытий. - 2012. - № 8.1. - С. 80-107.
- [86] Коварцев, А.Н., Попова-Коварцева, Д.А. К вопросу об эффективности параллельных алгоритмов глобальной оптимизации функций многих переменных // Компьютерная оптика. - 2011. - Т. 35., № 2. - С. 256-261.
- [87] Kovartsev, A.N., Popova-Kovartseva, D.A., Gorshkova, E.E. Software testing based on global search of several variables functions discontinuity // CEUR Workshop Proceedings. - 2015. - Vol. 1490. - P. 389-396.
- [88] Kovartsev, A.N., Popova-Kovartseva, D.A., Gorshkova, E.E. Method of unit testing for algorithms of computing software modules // CEUR Workshop Proceedings. - 2015. - Vol. 1490. - P. 252-261.
- [89] Vostokin, S.V. Templet: a markup language for concurrent actor-oriented programming // CEUR Workshop Proceedings. - 2016. - Vol. 1638. - P. 460-468. - DOI: 10.18287/1613-0073-2016-1638-460-468.
- [90] Артамонов, Ю.С. Разработка распределенных приложений сбора и анализа данных на базе микросервисной архитектуры / Артамонов Ю.С., Востокин С.В. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. - Т. 18, № 4(4). - С. 688-693.
- [91] Востокин, С.В. Применение предметных языков и акторной модели для автоматизации высокопроизводительных вычислений / С.В. Востокин, Е.Г. Скорюпина, Д.М. Наширванов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. - Т. 18, № 4(4). - С. 694-699.
- [92] Артамонов, Ю.С., Востокин, С.В. Инструментальное программное обеспечение для разработки и поддержки исполнения приложений научных вычислений в кластерных системах // Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. Науки. – 2015. - Т. 19:4. – С. 785–798.
- [93] Kolomiets, E.I. Analysis of activity of the scientific journal Computer Optics / E.I. Kolomiets // CEUR Workshop Proceedings. – 2015. – Vol. 1490. – P. 138-150.
- [94] Sokolov, V.O. Contribution of Samara scientists into Computer Optics journal development / V.O. Sokolov // CEUR Workshop Proceedings. – 2016. – Vol. 1638. – P. 194-206. – DOI: 10.18287/1613-0073-2016-1638-194-206.
- [95] Казанский, Н.Л. Успехи журнала «Компьютерная оптика» / Н.Л. Казанский // Компьютерная оптика. – 2017. – Т. 41, № 1. – С. 139-141.
- [96] Гергель, В.П., Фурсов, В.А. Лекции по параллельным вычислениям: учеб. пособие - Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та. - 2009. – 164 с.
- [97] Любопытов, В.С., Тлявлин, А.З., Султанов, А.Х., Багманов, В.Х., Хонина, С.Н., Карпеев, С.В., Казанский, Н.Л. Математическая модель полностью оптической системы детектирования параметров распространения мод в оптическом волокне при маломодовом режиме для адаптивной компенсации смещения мод // Компьютерная оптика. – 2013. – Том 37, № 3. – С. 352-359.
- [98] Nikonorov, A. Vessel segmentation for noisy CT data with quality measure based on single-point contrast-to-noise ratio / A. Nikonorov, A. Kolsanov, M. Petrov, Y. Yuzifovich, E. Prilepin, S. Chaplygin, P. Zelter, K. Bychenkov // Communications in Computer and Information Science. – 2016. – Vol. 585. – P. 490-507. – DOI: 10.1007/978-3-319-30222-5-23.