

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**ВОСЬМАЯ СИБИРСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ  
И ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫМ  
ВЫЧИСЛЕНИЯМ**

**ПРОГРАММА И ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ  
(28 – 30 октября 2015 года)**

Издательство Томского университета  
2015

УДК 519.6  
ББК 22.18  
В 28

В 28 Восьмая Сибирская конференция по параллельным и высокопроизводительным вычислениям: Программа и тезисы докладов (28 – 30 октября 2015 года). – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2015. – 48 с.  
ISBN 978-5-7511-2215-7

Представлены программа и тезисы докладов участников Восьмой Сибирской конференции по параллельным и высокопроизводительным вычислениям, которая пройдет в Томском государственном университете с 28 по 30 октября 2015 года при поддержке Министерства образования и науки РФ, Суперкомпьютерного консорциума России, Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 15-07-20872) и ЗАО «Intel Software».

Для научных сотрудников, преподавателей, аспирантов, студентов, использующих высокопроизводительные вычислительные ресурсы в научной и учебной работе.

УДК 519.6  
ББК 22.18

## **ВОСЬМАЯ СИБИРСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ И ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫМ ВЫЧИСЛЕНИЯМ**

С 28 по 30 октября 2015 года в Томском государственном университете при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, Российского фонда фундаментальных исследований, ЗАО «Intel Software» и под эгидой Суперкомпьютерного консорциума университетов России пройдет Восьмая Сибирская конференция по параллельным и высокопроизводительным вычислениям. Проведение конференции входит в мероприятия, посвященные 70-летию Великой победы. Информация о предыдущих сибирских конференциях по параллельным вычислениям в ТГУ (2001, 2003, 2005, 2007, 2009, 2011, 2013 гг.) находится на сайте: <http://conference.tsu.ru/pvv>.

Целью конференции является обсуждение современных проблем вычислительной математики и параллельных вычислений на многопроцессорных и многоядерных системах, привлечение талантливой молодежи к решению сложных научно-технических задач с использованием суперкомпьютеров, обмен опытом подготовки специалистов по параллельным компьютерным технологиям.

Конференция пройдет в следующем формате: пленарное заседание и три секции:

- параллельные алгоритмы решения сложных задач;
- современные высокоточные методы вычислительной и промышленной математики;
- технологии распределенных вычислений, средства и инструменты для разработки, анализа и оценки эффективности параллельных программ.

### **Программный комитет Восьмой Сибирской конференции по параллельным и высокопроизводительным вычислениям**

**Воеводин Вл.В.**, председатель Программного комитета, заместитель директора НИВЦ МГУ, член-корр. РАН;

**Майер Г.В.**, сопредседатель Программного комитета, президент ТГУ, профессор, д.ф.-м.н.;

**Старченко А.В.**, заместитель председателя Программного комитета, декан ММФ ТГУ, профессор, д.ф.-м.н.

**Шайдунов В.В.**, директор ИВМ СО РАН, член-корр. РАН;

**Толстых М.А.**, ведущий научный сотрудник ИВМ РАН, д.ф.-м.н.;

**Малышкин В.Э.**, заведующий кафедрой НГУ, зав. отд. ИВМиМГ СО РАН, профессор, д.т.н.;

**Ильин В.П.**, главный научный сотрудник ИВМиМГ СО РАН, профессор, д.ф.-м.н.;

**Квасов Б.И.**, ведущий научный сотрудник ИВТ СО РАН, профессор, д.ф.-м.н.;

**Гергель В.П.**, директор Института ИТМиМ ННГУ, профессор, д.ф.-м.н.;

**Максютов Ш.Ш.**, зав. отд. NIES (Japan), к.ф.-м.н.;

**Богословский Н.Н.**, секретарь Программного комитета, доцент ММФ ТГУ, к.ф.-м.н.

Открытие конференции состоится 28 октября 2015 года в 15.00 в конференц-зале Научной библиотеки ТГУ (пр. Ленина, 34).

## **Программа Восьмой Сибирской конференции по параллельным и высокопроизводительным вычислениям**

**28 октября 2015 года**

(конференц-зал Научной библиотеки ТГУ)

### **15.00–15.20 Открытие Восьмой Сибирской конференции**

Вступительное слово президента Томского государственного университета, сопредседателя Программного комитета конференции профессора Г.В. Майера

### **Пленарные доклады**

**15.20–15.40** Воеводин Вл.В. (НИВЦ МГУ, Москва) «Структура и свойства алгоритмов»

**15.40–16.00** Малышкин В.Э. (ИВМиМГ СО РАН, НГУ, Новосибирск) «Активные знания и новая грамотность»

**16.00–16.20** Вяткин А.В., Ефремов А.А., Карпова Е.Д. (ИВМ СО РАН, СФУ, Красноярск) «Особенности параллельной реализации с помощью технологии CUDA полуЛагранжевого метода на примере численного решения уравнения адвекции»

**16.20–16.40** Квасов Б.И. (ИВТ СО РАН, Новосибирск) «Весовые кубические и бигармонические сплайны»

**16.40–17.00** Толстых М.А., Фадеев Р.Ю., Мизяк В.Г. (ИВМ РАН, ФБУ «Гидрометцентр», Москва) "Параллельный программный комплекс модели атмосферы для прогноза погоды и моделирования климата»

**17.00–17.30** перерыв

**17.30-17.50** Петунин Д.В. (ЗАО «Интел») «Новейшая Intel Parallel Studio XE 2016 для решения научно-исследовательских, учебных и прикладных задач»

**17.-50-18.10** Богословский Н.Н., Данилкин Е.А., Чуруксаева В.В. (ТГУ, Томск) "Массовый открытый онлайн-курс "Введение в параллельное программирование в MPI и OpenMP"

**29 октября 2015 года**

**Секция «Параллельные алгоритмы решения сложных задач»**

(конференц-зал ТГУ – 227-я ауд. главного корпуса ТГУ)

(Председатели секции – В.Э. Малышкин, А.В. Старченко)

**09.00-09.15** Ботыгин И.А., Волков Ю.В, Тартаковский В.А. (ТПУ, ИМКЭС СО РАН, Томск) «Итеративный параллельный алгоритм формирования климатических кластеров для классификации температурных полей»

**09.15-09.30** Купчишин А.Б. (НГТУ, Новосибирск) «Эффективная реализация метода когерентного суммирования и метода шагающих кубов (marching cubes) для современных универсальных процессоров»

**09.30-09.45** Колесов А. Е. (СВФУ, Якутск) «Численное решение задач пороупругости на высокопроизводительных вычислительных системах»

**09.45-10.00** Пименов Е.С., Мамоиленко С.Н. (СибГУТИ, Новосибирск) «Организация горизонтального масштабирования и отказоустойчивого функционирования системы массового обслуживания»

**10.00-10.15** Медведев Ю.Г. (ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск) «Динамическая балансировка нагрузки кластера в программном комплексе моделирования газопорошковых потоков»

**10.15-10.30** Катаев М.Ю., Лукьянов А.К. (ТУСУР, Томск) «Параллельные технологии в задачах подготовки многомерных данных к использованию в приложениях»

**10.30-10.45** Катаев М.Ю., Лукьянов А.К., Крупский А.С (ТУСУР, Томск) «Подход к решению задачи кластеризации спутниковых изображений на кластере»

**10.45-11.00** Турсунов Д.А., Ушакова Л.Р., Крутакова Т.А. (УрГПУ, Екатеринбург) «Блочный метод для численного решения дифференциальных уравнений с распараллеливанием»

**11.00-11.30** Кофе-брейк

**11.30-11.45** Бульгин Л.Э., Семенов М.Е. (ТПУ, Томск) «Исследование алгоритмов факторизации полупростых чисел в вычислительной кластерной системе»

- 11.45-12.00** Зюзьков В.М. (ТГУ, Томск) «Новые вероятностные тесты на простоту»
- 12.00-12.15** Алеев Р.Ж., Семенихина П.Н. (ЮрГУ, Челябинск) «Использование суперкомпьютера «Торнадо-ЮУрГУ» для задач, связанных с разбиениями натуральных чисел»
- 12.15-12.30** Сарычев В.Г. (НГТУ, Новосибирск) «Программная реализация метода когерентного суммирования на GPU с использованием CUDA API»
- 12.30-12.45** Ахмед-Заки Д.Ж., Лебедев Д.В., Перепелкин В.А. (КазНУ, Алматы, Казахстан, ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск) «Обеспечение эффективного исполнения фрагментированных программ на примере реализации модели фильтрации трехфазной жидкости»
- 12.45-13.00** Киреев С.Е., Перепелкин В.А., Ткачёва А.А. (ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск) «Реализация метода IADE\_RB\_CG в системе фрагментированного программирования LuNA»
- 13.00-13.30** Кофе-брейк
- 13.30-13.45** Овсянников М.С. (ТГУ, Томск) «Организация кластерной обработки ГИС данных в задачах трассировки лучей»
- 13.45-14.00** Черноскутов М.А. (ИММ УрО РАН, УрФУ, Екатеринбург) «Методы высокопроизводительной обработки графов»
- 14.00-14.15** Данилкин Е.А., Старченко А.В. (ТГУ, Томск) «Вихреразрешающее моделирование турбулентных течений в уличных каньонах с использованием многопроцессорной вычислительной техники»
- 14.15-14.30** Маркова В.П. (ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск) «Процедура построения матрицы столкновений частиц в недетерминированных клеточных автоматах, моделирующих волновые процессы»
- 14.30-14.45** Кандрюкова Т.А. (ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск) «Параллельная реализация численного решения двумерной задачи фильтрационного горения газа»
- 14.45-15.00** Климонов И.А., Корнеев В.Д., Свешников В.М. (ИВМиМГ СО РАН, НГУ, Новосибирск) «Распараллеливание решения трехмерных краевых задач на квазиструктурированных сетках в гибридной вычислительной среде CPU+GPU»
- 15.00-16.00** перерыв
- 16.00-17.00** Толстых М.А. (ИВМ РАН, Гидрометцентр РФ, Москва) Лекция «Современные вычислительные технологии прогноза погоды»
- 17.00-18.00** Круглый стол «Компьютерная безопасность высокопроизводительных вычислительных систем»
- 16.00-19.00** Мастер-класс «Техники векторизации реальных приложений» (314-я ауд., 2-й учебный корпус ТГУ), ведущий – Д.В. Петунин (ЗАО «Intel Software»).

**30 октября 2015 года**

**Секция «Современные высокоточные методы вычислительной и  
индустриальной математики»**

(конференц-зал ТГУ – 227-я ауд. главного корпуса ТГУ, 9.00–13.15)  
(Председатели секции – Б.И. Квасов, В.Н. Берцун)

**09.00-09.15** Семенова А.А. (ТГУ, Томск) «Разностная схема высокого порядка аппроксимации для уравнения конвекции-диффузии»

**09.15-09.30** Терентьева М.В., Старченко А. В. (ТГУ, Томск) «Численное решение задачи тепло- и влагообмена в почве»

**09.30-09.45** Медведев Ю.Г. (ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск) «Сохранение изотропии программным комплексом моделирования газопорошковых потоков на этапе постобработки»

**09.45-10.00** Михайлов И.О. (УрФУ, Екатеринбург) «Построение полигональной оболочки над объёмными данными проекционный-итерационным методом»

**10.00-10.15** Эшаров Э.А., Шумилов Б.М. (ТГАСУ, Томск) « Новые подходы в обработке данных лазерного сканирования автомобильных дорог»

10.15-10.30 Потоцкая А.А. Михайлов М.Д. (ТГУ, Томск) «**Численное моделирование задачи о разрушении плотины**»

**10.30-10.45** Семенов Е.В. (ТГУ, Томск) «Искусственные нейронные сети в решении обратных задач»

10.45-11.00 Михневич В.Л., Берцун В.Н. (ТГУ, Томск) «**Об аддитивной разностной схеме для расчета на кластере теплового состояния многослойного ортотропного кольца**»

**11.00-11.30** кофе-брейк

11.30-11.45 Уколов Р.Ю., Меркулова Н.Н. (ТГУ, Томск) «**Исследование модели морфогенеза растений с применением разностных схем**»

**11.45-12.00** Фомин А. А., Фомина Л. Н. (КемГТУ, КемГУ, Кемерово) «Решение задачи течения несжимаемой вязкой жидкости в коротком плоском канале с обратным уступом для больших чисел Рейнольдса»

**12.00-12.15** Фомин А. А., Фомина Л. Н. (КемГТУ, КемГУ, Кемерово) «Численное моделирование теплообмена при течении несжимаемой вязкой жидкости в коротком плоском канале с обратным уступом»

**12.15-12.30** Амшарюк Е.И., Федорова О.П. (ТГУ, Томск) «К вопросу о выборе словаря признаков при классификации видеоизображений»

**12.30-12.45** Цыденов Б.О., Проханов С.А. (ТГУ, Томск) «Моделирование термогидродинамических процессов в озерах умеренных широт»

**12.45-13.00** Гольдин В.Д., Лаева В.И. (НИИПММ, ТГУ, Томск) «О решении задач сопряженного конвективного теплообмена твердых тел»

**13.00-13.15** Чуруксаева В.В., Старченко А.В. (ТГУ, Томск) «Численный метод для расчета турбулентного течения со свободной поверхностью»  
**13.15-14.15** перерыв

**Секция «Технологии распределенных вычислений, средства и инструменты для разработки, анализа и оценки эффективности параллельных программ»**

(конференц-зал ТГУ – 227-я ауд. главного корпуса ТГУ, 11.45–14.00)  
(Председатели секции – С.П. Сущенко, Н.Н. Богословский)

**14.15-14.30** Ботыгин И.А., Крутиков В.А. (ТПУ, ИМКЭС СО РАН, Томск) «Разработка и реализация методов и алгоритмов построения распределенной инфраструктуры информационно-вычислительных ресурсов для решения крупномасштабных научных задач на основе концепции персонального грида»

**14.30-14.45** Нагиев Е.А., Ботыгин И.А. (ТПУ, Томск) «Программный эксперимент по балансировке нагрузки в распределенной вычислительной системе»

**14.45-15.00** Власенко А.Ю. (КемГУ, Кемерово) «Гибридный подход к автоматизированной отладке параллельных программ»

15.00-15.15 Кривошеин С.Г., Окулов Н.Н. (КемГУ, Кемерово) «Архитектура системы удаленного доступа к вычислительным ресурсам»

**15.15-15.30** Перышкова Е.Н., Мамоиленко С.Н., Ефимов А.В. (СибГУТИ, ИФП СО РАН, Новосибирск) «Инструментарий решения масштабируемых задач на распределённых вычислительных системах»

**15.30-15.45** Кулагин И.И., Курносов М.Г. (СибГУТИ, Новосибирск) «Подход к сокращению ложных конфликтов в параллельных программах на базе транзакционной памяти»

**15.45-16.00** Щукин Г.А. (ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск) «Децентрализованная динамическая балансировка нагрузки в системе фрагментированного программирования LuNA»

**16.00** Закрытие конференции



# ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ ВОСЬМОЙ СИБИРСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ ПО ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ И ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫМ ВЫЧИСЛЕНИЯМ

## ОСОБЕННОСТИ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ CUDA ПОЛУЛАГРАНЖЕВОГО МЕТОДА НА ПРИМЕРЕ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ АДВЕКЦИИ

*А. В. Вяткин<sup>1,2</sup>, А. А. Ефремов<sup>1</sup>, Е. Д. Кареева<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск

<sup>2</sup>Сибирский федеральный университет, Красноярск

Рассмотрены две реализации полу-Лагранжевого метода, предложенного и обоснованного в [1] на примере краевой задачи для уравнения адвекции. Подход основан на выполнении балансового соотношения для решения при переходе с текущего временного слоя на следующий. Метод учитывает краевые условия и имеет первый порядок сходимости.

В работе обсуждается несколько параллельных версий численного алгоритма на основе технологий OpenMP и CUDA.

Проведен анализ последовательного алгоритма, описанного в [1], выявлены участки, имеющие максимальное влияние на производительность параллельного кода в силу особенностей архитектуры графических процессоров общего назначения (GP GPU). На основе идей, изложенных в [2], для повышения производительности алгоритма в целом и увеличения эффективности реализации для GP GPU изменен этап алгоритма, соответствующий интегрированию по пространству.

В результате ускорение CUDA-версии алгоритма увеличилось в 40 раз по сравнению с исходной реализацией для GP GPU. Заметим, что архитектура центрального процессора менее чувствительна к особенностям обсуждаемого метода. Ускорение OpenMP-версий не зависит от способа реализации интегрирования по пространству.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований, гранты № 14-01-00296 и № 14-01-31203.

Литература

1.Efremov A.A., Karepova E.D., Shaydurov V.V., Vyatkin A.V. A Computational Realization of a Semi-Lagrangian Method for Solving the Advection Equation // Journal of Applied Mathematics. – 2014. – V. 2014. – 610398.

2. Shaydurov V.V., Vyatkin A.V. The semi-lagrangian algorithm based on an integral transformation // AIP Conference Proceedings. – 2015. – V. 1648. – 850041.

## **ВЕСОВЫЕ КУБИЧЕСКИЕ И БИГАРМОНИЧЕСКИЕ СПЛАЙНЫ**

*Б. И. Квасов*

Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск

В работе обсуждается построение алгоритмов интерполяции дискретных данных весовыми кубическими и бигармоническими сплайнами с сохранением свойств монотонности и выпуклости данных. Задача формулируется как дифференциальная многоточечная краевая задача и рассматривается ее конечно-разностная аппроксимация. Представлены два алгоритма автоматического выбора параметров контроля формы (весов). Для весовых бигармонических сплайнов результирующая система линейных уравнений может быть эффективно решена с помощью гауссова исключения или посредством итерационных схем в дробных шагах. Рассматриваются вычислительные аспекты и иллюстрируются основные особенности этого оригинального подхода.

## **ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС МОДЕЛИ АТМОСФЕРЫ ДЛЯ ПРОГНОЗА ПОГОДЫ И МОДЕЛИРОВАНИЯ КЛИМАТА**

*М. А. Толстых<sup>1,2</sup>, Р. Ю. Фадеев<sup>1</sup>, В. Г. Мизяк<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Институт вычислительной математики РАН

<sup>2</sup>Гидрометцентр России

Численный прогноз погоды с высоким пространственным разрешением и моделирование изменений климата требует больших вычислительных ресурсов. Глобальная модель атмосферы ПЛАВ предназначена как для прогноза погоды, так и для моделирования изменений климата. Для этой модели разработана система параллельного ввода-вывода, которая может подключаться как отдельный программный компонент, либо задействовать некоторые из вычислительных процессов для выполнения операций чтения-записи. В докладе представлены результаты недавних работ по усовершенствованию модели, в том числе результаты применения системы параллельного ввода-вывода. Приведены результаты среднесрочных прогнозов погоды. Представлены предварительные результаты воспроиз-

ведения современного климата в численном эксперименте по протоколу AMIP2.

## **НОВЕЙШАЯ INTEL PARALLEL STUDIO XE 2016 ДЛЯ РЕШЕНИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ, УЧЕБНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ**

*Д. В. Петунин*

ЗАО «Интел», Новосибирск

Многие отрасли современной науки критически зависят от эффективной компьютерной обработки данных. Intel Parallel Studio - это инструмент для создания, отладки и оптимизации высокопроизводительных параллельных программ. С помощью этого инструмента проведено множество исследований в Российских и международных университетах и лабораториях. В докладе будут представлены новые возможности Intel Parallel Studio XE 2016 по созданию параллельных программ для обработки данных, таких как расширенные возможности по отладке OpenMP программ, помощник в векторизации программ Intel Vector Advisor, библиотека обработки больших данных Intel DAAL. Кроме того приведены примеры использования этого инструмента Российскими организациями.

## **МАССОВЫЙ ОТКРЫТЫЙ ОНЛАЙН-КУРС «ВВЕДЕНИЕ В ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ В MPI И OpenMP»**

*Н. Н. Богословский, Е. А. Данилкин, В. В. Чуруксаева*

Томский государственный университет, Томск

Массовый открытый онлайн-курс (МООК) — это обучающий курс, на котором одновременно учится от сотен до тысяч обучающихся, он является бесплатным и обучение происходит через Интернет. Как любой учебный курс он имеет определенную структуру, цели, задачи и т.д.

С 2011 г. многие университеты мира открывают свои курсы на специально созданных для этого МООК-платформах (Coursera, Udacity, edX, FutureLearn, OpenupEd и др.). Самая популярная МООК-платформа Coursera, по данным на сентябрь 2015 г., предлагает более 1400 курсов. На ней зарегистрировано 15,5 миллионов обучающихся. Данная платформа объединяет 133 университета. В 2015 г. одним из партнеров Coursera стал Национальный исследовательский Томский государственный университет. Разработанный курс, знакомит слушателей с двумя стандартами параллельного программирования для систем с общей и распределенной памя-

тью и основными архитектурами МВС. На простых примерах показаны основные конструкции и способы распределения работы. Специально разработанные практические задания с автоматической проверкой позволят слушателям приобрести практические навыки создания параллельных программ.

## **ИТЕРАТИВНЫЙ ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ КЛАСТЕРОВ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ**

*И. А. Ботыгин<sup>1</sup>, Ю. В. Волков<sup>1</sup>, В. А. Тартаковский<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Томский политехнический университет, Томск

<sup>2</sup>Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск

Описывается подход к выделению климатических структур, позволяющий решать задачи как климатической классификации, так и климатического районирования в любых пространственных и временных масштабах, основанный на использовании теории аналитического сигнала, введенного Д. Габором [1]. Классификация климатических структур происходит путем сравнения всех фазовых оценок из общей выборки инструментальных метеонаблюдений и выделения групп со сходными закономерностями поведения этих оценок. Критерием близости является коэффициент взаимной корреляции, как мера тесноты связи между отдельными фазовыми функциями. По группе оценок, удовлетворяющих заданному уровню критерия, рассчитывается «типовая фаза», как среднее из фазовых функций группы. Далее, каждая оценка фазы, входящая в группу, заменяется на «типовую фазу» и процесс классификации повторяется до тех пор, пока будут происходить изменения в составе групп и изменения типовых оценок. Модель параллельных вычислений построена на одновременном выполнении вычислительными единицами расчетных действий над рядами температурных значений из общего массива.

В зависимости от величины коэффициента взаимной корреляции можно достичь разных уровней сокращения количества индивидуальных оценок при существовании в них сходных закономерностей. Завершением процесса классификации является вычисление коэффициента взаимной корреляции между исходными и типовыми фазами и отнесение исходных к одной из групп или в категорию оценок, не вошедших в группы.

Литература

1.Gabor D. Theory of Communication // Journal of the IEE. – 1946. – Vol. 93(III). – PP. 429-457.

## **ЭФФЕКТИВНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА КОГЕРЕНТНОГО СУММИРОВАНИЯ И МЕТОДА ШАГАЮЩИХ КУБОВ (MARCHING CUBES) ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОРОВ**

*А. Б. Купчишин*

Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск

Метод когерентного суммирования (МКС) [1] применяется для локализации гипоцентров микросейсмической активности. Метод шагающих кубов (МШК) предназначен для построения изоповерхностей в трехмерном скалярном дискретном поле.

Целью работы является эффективная реализация МКС для высокопроизводительных вычислительных систем с учетом их архитектуры и особенностей задачи, а также реализация инструментария для построения и визуализации изоповерхностей в реальном времени с помощью МШК.

Разработана программа, реализующая МКС. Организовано чтение данных из файла на фоне вычислений. Реализован параллелизм в общей и распределенной памяти. Векторизованы циклы. Блочная обработка данных и последовательный обход памяти минимизируют количество кэш-промахов.

Разработан инструментарий для построения и визуализации изоповерхностей в реальном времени. Организовано параллельное исполнение МШК в общей памяти с динамическим распределением нагрузки. Применена технология VBO (Vertex Buffer Object) и индексных массивов.

Литература

1. Колесников Ю. И. и др. Применение сейсмоэмиссионной томографии для локализации сейсмических источников // Сейсмические исследования земной коры: сб. докл. междунар. науч. конф., посвящ. 90-летию акад. Н.Н. Пузырева (Новосибирск, 23-25 нояб. 2004 г.). - Новосибирск, 2004.

2. Купчишин А.Б. Система вывода алгоритмов на вычислительных моделях и интерпретатор для реализации алгоритмов на вычислительных системах с общей памятью // Современные проблемы прикладной математики и информатики. – Новосибирск, 2014. – Материалы школы-конференции молодых учёных. – С. 62.

## **ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПОРОУПРУГОСТИ НА ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ**

*А. Е. Колесов*

Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова,  
Якутск

Рассматриваются проблемы численного решения задач пороупругости (фильтрационной консолидации), возникающих при исследовании деформационных процессоров, происходящих при разработке месторождений нефти и газа. Система уравнений пороупругости включает уравнения Ламе для перемещений пористой среды и уравнения фильтрации для давления жидкости. Важнейшей особенностью математических моделей пороупругости является сильная связь между данными уравнениями. Уравнение упругости включает объемную силу, которая пропорциональна градиенту давления, а уравнение фильтрации содержит сжимаемость среды пропорциональную дивергенции скорости перемещений. Вычислительный алгоритм основан на конечно-элементной дискретизации по пространству. Для аппроксимации по времени используются стандартные двухслойные связанные схемы с весами и трехслойные явно-неявные схемы расщепления по физическим процессам, когда переход на новый временной слой осуществляется решением отдельных задач для перемещений и давления. Для используемой схемы расщепления по физическим процессам дано условие его безусловной устойчивости. Представлены результаты численного решения трехмерной модельной задачи. Проведена оценка работоспособности схем расщепления по физическим процессам. Особое внимание уделено использованию высокопроизводительных вычислительных систем кластерной архитектуры. Вычислительная реализация осуществлена с использованием свободной библиотеки FEniCS для решения уравнений в частных производных методом конечных элементов.

Литература

1. Wang H.F. Theory of Linear Poroelasticity with Applications to Geomechanics and Hydrogeology / H. F. Wang – Princeton University Press, 2000.
2. Biot M.A. General theory of three dimensional consolidation / M. A. Biot // J. Appl. Phys. – 1941. – Vol. 12 – no. 2 – P. 155–164.
3. Vabishchevich P.N. Additive operator-difference schemes. Splitting schemes. / P. N. Vabishchevich – de Gruyter, 2014
4. Kim J. Stability, accuracy, and efficiency of sequential methods for coupled flow and geomechanics / J. Kim, H. Tchelepi, R. Juanes // SPE J. – 2011. –P. 2–4.

**ОРГАНИЗАЦИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО МАСШТАБИРОВАНИЯ И  
ОТКАЗОУСТОЙЧИВОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ  
МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ**

*Е. С. Пименов, С. Н. Мамойленко*

Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Новосибирск

В настоящее время значительная часть современных серверных приложений построены на сервис-ориентированной архитектуре (SOA). Одним из преимуществ SOA является возможность обеспечения масштабируемости разрабатываемых систем. Широко распространенными инженерными практиками обеспечения отказоустойчивого функционирования и горизонтального масштабирования распределенных систем являются соответственно дублирование данных на нескольких узлах (репликация) и разделение данных на независимые части (шардинг).

Проработанная стратегия дублирования и распределения данных с учетом особенностей нагрузки проектируемой системы позволяет организовать отказоустойчивое функционирование системы, повысить производительность и обеспечить необходимый уровень качества обслуживания. В работе рассматривается задача организации горизонтального масштабирования и отказоустойчивого функционирования высоконагруженного распределенного поискового сервиса компании 2ГИС.

К системе предъявляется ряд требований по качеству обслуживания. Система должна обеспечить время отклика, не превышающее заданное максимальное значение. Необходимо обеспечить способность системы функционировать в условиях наличия отказов с заданным коэффициентом отказоустойчивости. При определении конфигурации системы должны учитываться ограничения на имеющиеся вычислительные ресурсы, такие как количество вычислительных узлов, число процессорных ядер и объем памяти на каждом узле. Также среди характерных особенностей системы следует выделить функционирование в режиме обслуживания потока легковесных запросов.

## **ДИНАМИЧЕСКАЯ БАЛАНСИРОВКА НАГРУЗКИ КЛАСТЕРА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГАЗОПОРОШКОВЫХ ПОТОКОВ**

*Ю. Г. Медведев*

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск

Исследуется эффективность параллельной программной реализации двумерной клеточно-автоматной модели газопорошкового потока FHP-GP [1, 2].

Параллелизм реализован методом декомпозиции областей клеточного массива. Т.к. состояния клеток представлены наборами целых чисел, значение состояния некоторой клетки в определенный момент времени существенно влияет на время ее обработки ядром кластера на соответствующей итерации. Состояния клеток меняются в процессе моделирования, следовательно, меняются и времена их обработки. Это приводит к дисбалансу нагрузки и невозможности эффективно применять статическую балансировку, особенно при наличии больших градиентов давления моделируемого газа. Централизованные алгоритмы балансировки также неэффективны по причине использования многих тысяч ядер кластера при запуске одной задачи.

В работе предлагается диффузионный алгоритм динамической балансировки нагрузки кластера, совмещающий пересылку границ областей, дополнительных слоев клеток и информации о загруженности ядер, что приводит к существенному уменьшению затрат на балансировку. Приводятся результаты компьютерных экспериментов, проведенных на кластере МСЦ. Измерена эффективность распараллеливания в режиме балансировки. Она сравнивается с эффективностью без балансировки. Также приведено сравнение с известным алгоритмом балансировки параллельной реализации метода частиц в ячейках [3].

Литература

- 1.Медведев Ю.Г. Клеточно-автоматная модель формирования порошковой струи // Прикладная дискретная математика. 2009. №3. С. 50–58.
- 2.Toffoli T. Cellular automata as an alternative to (rather than approximation of) differential equations in modeling physics // Physica D. 1984. V. 10. P. 117–127.
- 3.Kraeva M.A., Malyshkin V.E. Assembly Technology for Parallel Realization of Numerical Models on MIMD-Multicomputers. In the special issue of the International Journal on Future Generation Computer Systems, devoted to Parallel Computing Technologies. 2001. V. 17. No. 6. P. 755–765.

## **ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЗАДАЧАХ ПОДГОТОВКИ МНОГОМЕРНЫХ ДАННЫХ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В ПРИЛОЖЕНИЯХ**

*М. Ю. Катаев, А. К. Лукьянов*

Томский университет радиоэлектроники и систем управления, Томск

При использовании спутниковой информации, которая является по своей сути многомерной  $S(x,y,z,t,\lambda)$  (пространство–время–спектр), возни-



кают задачи предварительной подготовки наборов данных для решения той или иной задачи и тематической обработки. Каждая из этих задач требует значительного времени для расчетов, пространства для хранения данных и вычислительных ресурсов. Помимо этого, для обработки спутниковых данных требуется масса сопутствующей информации, которая позволяет получить адекватности реальности решения. Такая информация содержится в специализированных хранилищах (например, NCEP, ECMWF, MetOffice и др.) или спутниковых продуктах. Получаемая априорная информация, которая также является многомерной, хранится на определенных пространственных и временных сетках, специализированных форматах и ее использование в сочетании со спутниковыми данными требует значительного преобразования – подготовки к использованию.

В данной работе предлагается унифицированная структура работы с многомерными данными, которая одновременно используется для работы со спутниковыми и априорными данными. Введены единые понятия, которые связаны с областью применения спутниковой информации (например, первичная единица – Скаляр, число, определенное для конкретной широты и долготы, при фиксированной высоте и заданном времени; Вектор, Матрица и др.). Это позволило нам единым образом согласовывать разнородные наборы данных между собой, при решении практических задач.

Естественно, что временные затраты на решение обсуждаемых задач велико и возникает необходимость применения технологий параллельной парадигмы обработки данных. Для этих целей нами написаны для вычислительного кластера ТУСУР соответствующие программные единицы. Вопросы подготовки многомерных данных для унифицированного использования, с помощью параллельных алгоритмов, обсуждаются в данном докладе.

## **ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ КЛАСТЕРИЗАЦИИ СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА КЛАСТЕРЕ**

*М. Ю. Катаев, А. К. Лукьянов, А. С. Крупский*

Томский университет радиоэлектроники и систем управления, Томск

Современные алгоритмы обработки спутниковых изображений в основной своей массе опираются на высокопроизводительные вычисления на кластерных системах и параллельные способы обработки данных. В своей основе вычислительные кластерные системы состоят непосредственно из вычислительного устройства – кластера и сети. Разработка устойчивого в вычислительном плане, быстрого и надежного алгоритма обработки данных связано с работой двух выше указанных систем.

Алгоритм кластеризации, формально, можно представить как поиск подобных по определенным свойствам объектов на изображении. Это связано с разбиением изображения на группы, внутри которых достигается сходство элементов между собой по определенному признаку при отличии групп друг от друга. Применительно к тематике зондирования поверхности Земли из космоса, решение задачи кластеризации подразумевает формирование групп на изображении, связанных с определенными типами поверхности. Эффективное решение этой задачи зависит от качества полученного изображения, физических условий измерений, применяемых математических моделей и априорной информации.

Нами в докладе рассматривается решение двух задач, связанных с алгоритмическими особенностями кластеризации спутниковых изображений и работу сетевой коммуникации при обеспечении вычислительного процесса. Оказалось, что на временные характеристики вычислений влияют параметры настройки сети вычислительного кластера. Обсуждаются полученные результаты обработки данных спутникового радиометра MODIS для территории Томского района.

## **БЛОЧНЫЙ МЕТОД ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЕМ**

*Д. А. Турсунов, Л. Р. Ушакова, Т. А. Крутакова*

Уральский государственный педагогический университет, Екатеринбург

В исследовании предлагается разработка линейного неявного одношагового  $k$ -точечного блочного метода по методу Гира [1,2], который является самостартующимся, и применять ее для численного решения задачи Коши для жестких систем обыкновенных дифференциальных уравнений. На примере одношагового десятиточечного метода в виде формулы дифференцирования назад впервые определены коэффициенты блочного метода, проведена проверка на согласованность коэффициентов метода, определен порядок аппроксимации и область устойчивости предложенного метода для десяти точек в одном блоке. Проведены численные эксперименты с использованием предлагаемого блочного метода на задачах различной степени жесткости с распараллеливанием.

Литература

1. Semenov M., Tursunov D., Erkebaev U. Design block methods for solving ordinary differential equations // Fifth Congress of the Turkic World Mathematicians, 5-7 June, 2014, Bulan-Sogottu, Kyrgyzstan, Proceedings. Bishkek: Kyrgyz Mathematical Society, 2014. P. 159–163

2. Турсунов Д.А., Семенов М.Е. Построение одношагового девятиточечного блочного метода для решения жестких систем обыкновенных дифференциальных уравнений // «Современные проблемы науки и образования». – 2013. – № 6(50).

## **ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ФАКТОРИЗАЦИИ ПОЛУПРОСТЫХ ЧИСЕЛ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ КЛАСТЕРНОЙ СИСТЕМЕ**

*Л. Э. Булыгин, М. Е. Семенов*

Томский политехнический университет, Томск

Целью работы является получение сравнительной оценки эффективности алгоритмов факторизации полупростых чисел при различных входных данных. На данный момент вычислительная сложность задачи разложения полупростых чисел на делители активно используется в криптографических алгоритмах, в частности, в алгоритме шифрования RSA [1]. Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- реализовать алгоритмы факторизации в кластерной системе;
- провести тестирование алгоритмов;
- сравнить и сделать выводы об эффективности алгоритмов.

В данной работе будет проведено сравнение следующих алгоритмов факторизации [2]: метод Ферма, р-метод Полларда, метод эллиптических кривых, метод квадратичного решета, а также алгоритм, основанный на упорядоченном переборе сумм цифр полупростого числа. Данные алгоритмы будут реализованы на языке C++ и протестированы в кластерной системе «СКИФ-Политех» (cluster.tpu.ru). Сравнительная оценка будет проведена на целых числах различной разрядности, с учетом длины простых сомножителей и расстояния между ними в натуральном ряду.

Литература

1. Rivest R. L., Shamir A., Adleman L. A method for obtaining digital signatures and public-key cryptosystems. New York, NY, USA: ACM, 1978. — Vol. 21, no. 2, Feb. 1978. — P. 120—126.
2. Brent R.P. Parallel Algorithms for Integer Factorisation. Canberra: Australian National University. – P. 3-9.

## **НОВЫЕ ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ТЕСТЫ НА ПРОСТОТУ**

*В. М. Зюзьков*

Томский государственный университет, Томск

Рассматриваются псевдопростые числа Ферма по основанию 2 [1, с. 154] и псевдопростые числа Фибоначчи [1, с. 166]. Проверяется, существуют ли нечетные составные числа вида  $5n \pm 2$ , которые были бы одновременно псевдопростыми числами Ферма и Фибоначчи. Кроме обычного теста Фибоначчи предлагаются еще два теста, связанных с числами Фибоначчи [2]. Таким образом, всего проверялось три теста на простоту и вычисления показали, что до 10 000 000 000 данные тесты работают правильно. Вычисления проводились в системе Mathematica с помощью программирования на языке Wolfram на параллельных локальных ядрах. Параллельное программирование на языке Wolfram очень просто при использовании функциональной парадигмы программирования. Данные тесты применимы для очень больших чисел вследствие возможностей Mathematica и построения эффективных алгоритмов для возведения в степень по модулю и для вычисления чисел Фибоначчи по модулю.

Литература

1. Крэндалл Р., Померанс К. Простые числа: Криптографические и вычислительные аспекты. М.: УРСС: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. – 664 с.
2. Зюзьков В. М. Последовательность  $Fibonacci(n) \bmod n$  // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2013, № 4(24). С. 15-23.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СУПЕРКОМПЬЮТЕРА «ТОРНАДО-ЮУРГУ» ДЛЯ ЗАДАЧ, СВЯЗАННЫХ С РАЗБИЕНИЯМИ НАТУРАЛЬНЫХ ЧИСЕЛ

*Р. Ж. Алеев, П. Н. Семенихина*

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск

Разбиением натурального числа называется его представление в виде суммы натуральных слагаемых. Разбиения считаются одинаковыми, если они различаются только порядком слагаемых. Основная трудность работы с разбиениями больших чисел состоит в том, что число их растёт экспоненциально. Более точно, справедлива следующая приближённая формула Харди-Рамануджана-Успенского числа разбиений  $p(n)$  данного

натурального числа  $n$ : 
$$p(n) \sim \frac{1}{4n\sqrt{3}} \exp\left(\pi \sqrt{\frac{2n}{3}}\right).$$
 К примеру,  $p(100) = 190\,569\,292$  и  $p(200) = 3\,972\,999\,029\,388$ .

Данное исследование посвящено вопросу о числе разбиений, произведение элементов которых даёт квадрат натурального числа, причем элементы должны быть различными. Это связано со следующим результатом. Лемма 1 (Теорема 4.5 [1]). Ранг группы  $U(Z(ZA_n))$  центральных единиц целочисленного группового кольца знакопеременной группы  $A_n$  равен количеству разбиений  $a = a_1 + \dots + a_k$  натурального числа  $n$ , удовлетворяющих следующим свойствам:

- 1)  $a_i$  нечетно,  $1 \leq i \leq k$ ;
- 2)  $a_i \neq a_j$ , при  $i \neq j$ ;
- 3)  $n \equiv k \pmod{4}$ ;
- 4)  $\prod_{i=1}^k a_i$  не является квадратом натурального числа.

В работе [2] были произведены вычисления на первом кластере Южно-Уральского государственного университета "Infinity". За счет применения параллельных вычислений и предельной оптимизации программы в 2010 г. удалось получить ранги для  $n \leq 600$ .

Например, для  $n = 100$   $p(n) = 1006$ , а для  $n = 600$   $p(n) = 40127403414$ . Кроме, того было доказано, число разбиений, удовлетворяющих первым трём утверждениям леммы, также растёт экспоненциально. Одновременно, при вычислениях рангов, было определено, что число разбиений, не удовлетворяющих четвёртому утверждению леммы, всегда относительно мало. Например, для  $n = 100$  оно равно 2 (ранг равен 1006), а для  $n = 200$  равно 453 (ранг равен 171 988).

Поэтому весьма правдоподобной представляется гипотеза о полиномиальном характере роста функции  $q(n)$ , где  $q(n)$  – число разбиений натурального числа  $n$ , произведение элементов которых даёт квадрат натурального числа, все элементы различные. Целью данной работы является задача подтвердить или опровергнуть данную гипотезу путем вычисления  $q(n)$  для как можно больших степеней  $n$ . Для этого разрабатывается параллельный алгоритм для запуска на многоядерных сопроцессорах нового суперкомпьютера «Торнадо ЮУрГУ», который позволит достичь  $n \geq 1000$ .

Литература

1. Ferraz R.A. Simple components and central units in group rings // Journal of Algebra, 2004, v. 279, №1 pp.191-203.
2. Каргаполов А.В. Параллельный алгоритм для нахождения рангов групп центральных единиц целочисленных групповых колец знакопеременных групп / А.В. Каргаполов // Алгоритмы и программные средства параллельных вычислений. Сб. научных трудов. Екатеринбург: УрО РАН, 2009, №10, с. 8--12.

Алеев Р.Ж. Ранги групп центральных единиц целочисленных групповых колец знакопеременных групп // *Фундамент. и прикл. матем.* М.: 2008, том 14, №7, с. 15-21.

## **ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА КОГЕРЕНТНОГО СУММИРОВАНИЯ НА GPU С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ CUDA API**

*В. Г. Сарычев*

Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск

В обработке сейсмических данных востребовано использование высокопроизводительных вычислительных платформ. Это связано с большими объемами данных и необходимостью их оперативной обработки [1]. Одним из примеров, является задача микросейсмического мониторинга в процессе гидравлического разрыва пласта, при решении которой применяется метод когерентного суммирования [2].

Цель работы состоит в эффективной реализации метода когерентного суммирования для исполнения на GPU, поддерживающих программную модель NVIDIA CUDA [3].

Рассматриваются оптимизации по работе с различными типами памяти GPU и приводится анализ по степени загруженности GPU при различных конфигурациях используемой памяти и наборах входных данных, описаны оптимизации по работе с жестким диском и операциями ввода/вывода направленными на "маскировку" операций чтения/записи на фоне вычислений.

Программа протестирована на следующих аппаратных архитектурах GPU компании NVIDIA: Fermi, Kepler, Maxwell.

Литература

- 1.Лесной, Г. Д., В. В. Мерший, Опанасенко А.С. Обработка сейсморазведочных данных на основе параллельных вычислений с использованием графических процессоров // Міжнародна конференція "Високопродуктивні обчислення" НРС-UA'2012 (Україна, Київ, 8-10 жовтня 2012 року). – С. 235-242
- 2.Яскевич С.В., Дучков А.А. Сравнение точности локации микросейсмических событий при использовании наземных и скважинных систем наблюдений. // Технологии сейсморазведки 03 (2013). – С. 43-51.
- 3.CUDA C Programming Guide. URL: <http://docs.nvidia.com/cuda/cuda-c-programming-guide/index.html#axzz3aOqAdBFv>

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛНЕНИЯ ФРАГМЕНТИРОВАННЫХ ПРОГРАММ НА ПРИМЕРЕ**

## **РЕАЛИЗАЦИИ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ ФИЛЬТРАЦИИ ТРЕХФАЗНОЙ («НЕФТЬ-ВОДА-ГАЗ») ЖИДКОСТИ**

*Д. Ж. Ахмед-Заки<sup>1</sup>, Д. В. Лебедев<sup>1</sup>, В. А. Перепелкин<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби,  
Алматы, Республика Казахстан

<sup>2</sup>Институт вычислительной математики и математической геофизики СО  
РАН, Новосибирск

Система фрагментированного программирования LuNA [1], разрабатываемая в ИВМиМГ СО РАН, предназначена для эффективной реализации больших численных моделей на суперкомпьютерах. Система обеспечивает распределённую реализацию прикладного алгоритма, описанного на высоком уровне, автоматизируя коммуникации, распределение ресурсов, управление памятью и другие системные задачи. Обеспечение высокой эффективности реализации алгоритма (по производительности, потреблению памяти, нагрузке на коммуникационную подсистему мультикомпьютера) является сложной задачей для автоматизации, поэтому в системе LuNA предусмотрены высокоуровневые средства ручной настройки реализации алгоритма. Работа посвящена проблеме повышения эффективности работы системы на примере алгоритма решения двумерной краевой задачи фильтрации трехфазной («нефть-вода-газ») жидкости [2]. Выполнен сравнительный анализ нескольких различных реализаций алгоритма. Приведены результаты тестирования на вычислительном кластере ССКЦ СО РАН.

Литература

1. Malyshkin V.E., Perepelkin V.A. Optimization methods of parallel execution of numerical programs in the LuNA fragmented programming system // The Journal of Supercomputing, Springer, Volume 61, Number 1 (2012), pp. 235-248. DOI: 10.1007/s11227-011-0649-6.

2. Akhmed-Zaki D.Zh., Lebedev D.V., Perepelkin V.A. Implementation of a Three-Phase Fluid Flow (“Oil-Water-Gas”) Numerical Model in the LuNA Fragmented Programming System // Proc. of the 13th International Conference on Parallel Computing Technologies. LNCS 9251, Springer. 2015. pp. 489-497.

## **РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА IADE\_RB\_CG В СИСТЕМЕ ФРАГМЕНТИРОВАННОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ LUNA**

*С. Е. Киреев, В. А. Перепелкин, А. А. Ткачёва*

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирский государственный университет, Новосибирск

Система фрагментированного программирования LuNA [1], разрабатываемая в Лаборатории синтеза параллельных программ ИВМиМГ СО РАН, предназначена для автоматизации реализации больших численных моделей для суперкомпьютеров. Целью работы является апробация системы LuNA для реализации конкретных численных алгоритмов. В работе рассматривается модельная задача решения одномерного параболического уравнения методом IADE\_RB\_CG [2]. Рассматриваемый алгоритм был фрагментирован и реализован в системе LuNA, а также распараллелен и реализован с помощью MPI. Выполнено сравнение реализаций с точки зрения трудоёмкости разработки и отладки, а также эффективности полученной реализации. В частности, рассматривается вопрос повышения эффективности LuNA-реализации с помощью системных средств управления исполнением фрагментированного алгоритма. Приводятся результаты сравнительного тестирования на кластере.

Литература

1. Malyshkin V.E., Perepelkin V.A. LuNA Fragmented Programming System, Main Functions and Peculiarities of Run-Time Subsystem // PaCT-2011 proceedings, Springer, LNCS 6873 (2011), pp. 53-61.
2. Alias N., Sahimi M.S., Abdullah A.R. Parallel strategies for the iterative alternating decomposition explicit interpolation-conjugate gradient method in solving heat conductor equation on a distributed parallel computer systems // Proceedings of The 3rd International Conference On Numerical Analysis in Engineering, Vol. 3 (2003), pp. 31-38.

## **ОРГАНИЗАЦИЯ КЛАСТЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ГИС ДАННЫХ В ЗАДАЧАХ ТРАССИРОВКИ ЛУЧЕЙ**

*М. С. Овсянников*

Томский государственный университет, Томск

Современные компиляторы позволяют обеспечить поддержку SMP систем за счет механизма раскрытия и параллельной обработки циклов. Однако в случае использования гетерогенных вычислительных устройств объединенных в кластер, требуется модификация алгоритмов соответствующим образом. При этом особое внимание следует уделить решению трех вопросов [1]:

- Распределение задач между вычислительными устройствами (узлами кластера).



- Сокращение затрат на синхронизацию вычислений.
- Обеспечение локальности данных по узлам.

Решая задачу организации параллельных расчетов распространения звука методом Ray-casting [2] удалось решить первую проблему за счет разделения исходной задачи на два этапа, где основная обработка ведется над набором независимых пар источник-приемник. Задача синхронизации полностью вынесена во второй этап расчётов, где по аналогии с подходом MapReduce происходит редуцирование результатов по узлам целевой сети.

Обеспечение локальности данных возможно за счет кластеризации исходных ГИС данных на отдельные области. Для каждого источника рассчитывается его максимальная область действия и строится геопространственный индекс на основе R\*-tree.

Для удобства организации вычислений, предлагается выделить наряду с узлом управления - отдельный узел ГИС данных, что позволяет объединять обработку соседних источников звука.

Литература

- 1.Аветисян А.И., Гайсарян С.С., Губарь А.Ю., Бабкова В.В. Моделирование интенсивных атмосферных вихрей в среде ParJava // Материалы шестого межд. науч-практ. семинара Высокопроизводительные параллельные вычисления на кластерных системах. Том 1, Санкт-Петербург: Изд-во СПбГУ, 2007. 281 с. – 16-21
- 2.Овсянников М. С. Построение карт шумового загрязнения методом итеративной трассировки источников --- // Жилищное строительство. - 2012. - № 6. с. 55-57

## **МЕТОДЫ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ГРАФОВ**

*М. А. Чернокутов*

Институт математики и механики УрО РАН, Уральский Федеральный университет, Екатеринбург

В настоящее время алгоритмы на графах активно используются в различных отраслях науки, промышленности и бизнеса, таких как биоинформатика, анализ социальных сетей, извлечение знаний из данных и т.д. Во многих случаях, большие размеры обрабатываемых графов предполагают их параллельную обработку на многопроцессорных вычислительных системах [1,2].

Однако эффективному распараллеливанию алгоритмов на графах препятствует ряд обстоятельств, таких как интенсивный доступ к памяти и

заранее неизвестное (в общем случае) распределение данных по узлам вычислительной системы [3].

В данной работе представлены методы, позволяющие ускорить параллельную обработку графов за счет распределения вычислительной нагрузки по потокам, а также снижения накладных расходов при обмене данными между вычислительными процессами.

Разработанные методы позволяют значительно ускорить параллельный алгоритм поиска в ширину на графе.

Литература

1. Newman M.E.J. The structure and function of complex networks // SIAM Review 45, 167-256 (2003).
2. Hendrickson B., Berry J.W. Graph analysis with high-performance computing // Computing in Science and Engineering, vol. 10, no. 2, pp. 14-19, 2008.
3. Lumsdaine A., Gregor D., Hendrickson B., Berry J.W. Challenges in Parallel Graph Processing // Parallel Processing Letters 17, 2007, 5-20.

## **ВИХРЕРАЗРЕШАЮЩЕЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНЫХ ТЕЧЕНИЙ В УЛИЧНЫХ КАНЬОНАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОПРОЦЕССОРНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ**

*Е. А. Данилкин, А. В. Старченко*

Томский государственный университет, Томск

В докладе будет представлена параллельная реализация алгоритма численного решения системы уравнений Навье-Стокса, описывающих движение несжимаемой среды при вихреразрешающем моделировании турбулентности. Вихреразрешающее моделирование здесь рассматривается как альтернатива распространенному методу решения системы уравнений Навье-Стокса, осредненных по Рейнольдсу.

Вихреразрешающее моделирование оказывается более предпочтительным при описании турбулентных отрывных течений, так как позволяет напрямую описывать нестационарную структуру турбулентного течения, предсказывая поведение крупных вихрей и передачу энергии к более мелким вихрям с масштабами вплоть до размера ячейки расчетной сетки. Разрабатываемая модель будет применена для проведения исследований направленных на углубление понимания пространственного и временного распределения потоков ветра в городских кварталах.

Вихреразрешающее моделирование предъявляет достаточно жесткие требования к быстродействию компьютера [1], поэтому в работе сделан упор на использование многопроцессорной вычислительной техники с

распределенной памятью, рассмотрены различные способы геометрической декомпозиции (одномерная, двумерная и трехмерная).

Литература

1. Данилкин Е.А. Исследование движения воздуха и переноса примеси в уличном каньоне с использованием вихреразрешающей модели турбулентного течения / Е.А. Данилкин, Р.Б. Нутерман, А.А. Барт, Д.В. Деги, А.В. Старченко // Вестник ТГУ. Механика и математика. – 2012. – № 4 (20). – С. 66–79.

## **ПРОЦЕДУРА ПОСТРОЕНИЯ МАТРИЦЫ СТОЛКНОВЕНИЙ ЧАСТИЦ В НЕДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТАХ, МОДЕЛИРУЮЩИХ ВОЛНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ**

*В. П. Маркова*

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск

Рассматривается недетерминированный клеточный автомат HPPGr (rest particles). Автомат определен на 2D решетке, в узлах которой (клетках) находится два типа частиц: движущиеся и частицы покоя. Движущиеся частицы имеют единичную массу и единичную скорость, направленную вдоль одного из ребер решетки. Частицы покоя имеют нулевую скорость и массу отличную от нуля. В каждый момент времени в клетке может находиться не более четырех движущихся частиц и нескольких частиц покоя. Состояние клетки однозначно определяется булевым вектором. Эволюция HPPGr-автомата состоит из двух фаз: столкновение и сдвиг. Столкновение выполняется локально для каждой клетки автомата. Множество правил столкновения образует матрицу столкновений частиц порядка  $2^{4+b} \times 2^{4+b}$ , где  $b$  – количество частиц покоя. Элементом матрицы является вероятность перехода клетки из одного состояния в другое. На фазе сдвига все движущиеся частицы сдвигаются в сторону ближайшего соседа. Все клетки HPPGr-автомата вычисляют новое состояние синхронно и параллельно, в результате чего происходит изменение глобального состояния автомата. В работе приведена формальная процедура построения матрицы столкновений частиц. Матрица столкновений формируется в виде объединения непересекающихся матриц столкновений частиц для всех классов эквивалентности (КЕ). КЕ представляет собой множество состояний клетки HPPGr-автомата, которые имеют одну и ту же массу и импульс. Матрицы столкновений для всех классов эквивалентностей строятся независимо. Элементы матриц должны удовлетворять условию нормализации и полудетального баланса.

## **ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ДВУМЕРНОЙ ЗАДАЧИ ФИЛЬТРАЦИОННОГО ГОРЕНИЯ ГАЗА**

*Т. А. Кандрюкова*

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск

Под фильтрационным горением газов понимается процесс распространения зоны газофазной экзотермической реакции в химически инертной пористой среде (каркасе) при фильтрационном подводе газообразных реагентов к зоне химического превращения [1]. В качестве математической модели используется двумерная энтальпийная постановка [2], основанная на системе уравнений первого порядка в терминах «температура каркаса - тепловой поток в каркасе», «полная газовая энтальпия - поток энтальпии», «масса недостающего компонента горючей смеси - поток массы». В связи с большим объемом вычислений на каждом временном шаге крайне важно научиться ускорять вычислительный процесс с помощью таких технологий параллельного программирования, как MPI [3]. В данной работе реализован простейший вариант параллельного выполнения программного кода методом Halo Exchange. Численные эксперименты выполнялись на кластере НКС-30Т Сибирского Суперкомпьютерного центра [4]. Результаты приводятся в работе в виде графиков и таблиц.

Литература

1. Бабкин В.С., Лаевский Ю.М. Фильтрационное горение газов // Физика горения и взрыва. 1987. Т. 23, № 5. С. 27–44.
2. Лаевский Ю.М., Яушева Л. В. Численное моделирование фильтрационного горения газа на основе двухуровневых полунявных разностных схем // Вычислительные технологии. 2007. Т. 12, № 2. С. 90–103.
3. Антонов А.С. Параллельное программирование с использованием технологии MPI. МГУ, 2004.
4. [www2.sccc.ru/НКС-30Т/НКС-30Т.htm](http://www2.sccc.ru/НКС-30Т/НКС-30Т.htm)

## **РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЕ РЕШЕНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ НА КВАЗИСТРУКТУРИРОВАННЫХ СЕТКАХ В ГИБРИДНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ CPU+GPU**

*И. А. Климонов, В. Д. Корнеев, В. М. Свешников*

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирский государственный университет, Новосибирск

Рассматриваются параллельные алгоритмы решения трёхмерных краевых задач на квазиструктурированных сетках, основанные на декомпозиции расчётной области на подобласти, являющиеся элементами данных сеток. На границе сопряжения подобластей проводится прямая аппроксимация уравнения Пуанкаре – Стеклова системой линейных алгебраических уравнений, которая решается итерационными методами в подпространствах Крылова. При этом на каждом шаге итерационного процесса необходимо решать подзадачи в подобластях. Это наиболее трудоёмкая процедура во всём решении. Предлагается следующая технология проведения вычислений: распараллеливание решения уравнения Пуанкаре – Стеклова реализуется на CPU в системе MPI, а решение в подобластях осуществляется методом Писмана – Рэчфорда с использованием графических ускорителей. Данная технология реализована в программном комплексе, при помощи которого проведено экспериментальное исследование эффективности применения графических ускорителей.

## **РАЗНОСТНАЯ СХЕМА ВЫСОКОГО ПОРЯДКА АППРОКСИМАЦИИ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ КОНВЕКЦИИ-ДИФфуЗИИ**

*А. А. Семёнова*

Томский государственный университет, Томск

В настоящее время стремительно развиваются информационные технологии. Важным моментом является такая сфера знаний, как математическое моделирование. Особое место занимает математическое моделирование в решении огромного количества задач, связанных с проблемами экологии. Выделим процесс распространения загрязняющих веществ в водной и воздушной средах. Именно эта задача и рассматривается в представленной работе.

Цель данной работы состоит в разработке алгоритма решения уравнения конвекции-диффузии с использованием монотонных разностных схем высокого порядка аппроксимации на основе интерполяционных многочленов.

В данной работе были исследованы методы построения схем высокого порядка аппроксимации для численного решения уравнения переноса. Была изучена схема ENO, которая позволяет получать аппроксимацию по пространству до 6-ого порядка. Аналогичным способом была получена разностная схема с использованием кубического интерполяционного сплайна, построенного через наклоны. Основными требованиями к предъявляемым решениям были монотонность и неотрицательность. Выполнение этих требований удалось добиться при использовании монотонизато-

ров. Теоретические исследования показывают, что схема с применением сплайна даёт более точные результаты. Также эта разностная схема явная, что предполагает эффективное распараллеливание.

Работа выполнена по Государственному Заданию Министерства образования и науки РФ, №5.628.2014/К.

Литература

Chi-Wang Shu. Essentially non-oscillatory schemes for hyperbolic conservation laws // Preprint of Division of Applied Mathematics. BrownUniversity. 1996. – 92p.

## **ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ТЕПЛО- И ВЛАГООБМЕНА В ПОЧВЕ**

*М. В. Терентьева, А. В. Старченко*

Томский государственный университет, Томск

Для достоверного моделирования состояния атмосферы важную роль играют процессы, протекающие на подстилающей поверхности и в деятельном слое суши, оказывающие существенное влияние на термический режим и влагообмен в нижней тропосфере. Деятельный слой почвы играет ключевую роль как резервуар влаги, контролирующий, в частности, испарение.

Произведена модификация имеющейся одномерной микромасштабной метеорологической модели высокого разрешения [1] путем включения схемы параметризации ISBA (Interaction Soil Biosphere Atmosphere), разработанной J. Noilhan и S. Planton [2]. Эта схема описывает обмен тепла и воды между нижним уровнем атмосферы, растительностью и почвой.

Схема включает в себя пять прогностических уравнений для температуры почвы на глубине, содержания воды в почве на глубине, температуры на поверхности почвы/растительности,  $T_s$ , содержания воды на поверхности почвы, и перехвата воды, задержавшейся на поверхности растительности.

Представлено сравнение аналитического и численного решений задачи тепло- и влагообмена в почве.

Работа выполнена по Государственному Заданию Министерства образования и науки РФ, №5.628.2014/К.

Литература

1. Terenteva M. V. , Homogeneous boundary layer model for forecasting of atmospheric processes nearby airport / Grigory I. Sitnikov , Alexander V. Starchenko // Proc. SPIE 9292, 20th International Symposium on Atmospheric

and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 92924E (November 25, 2014);

doi:10.1117/12.2075248

2.Noilhan J., The ISBA land surface parameterisation scheme/ J.-F. Mahfouf // Global and Planetary Change, 13 (1996), pp. 145-159.

## **СОХРАНЕНИЕ ИЗОТРОПИИ ПРОГРАММНЫМ КОМПЛЕКСОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГАЗОПОРОШКОВЫХ ПОТОКОВ НА ЭТАПЕ ПОСТОБРАБОТКИ**

*Ю. Г. Медведев*

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск

Используемая программным комплексом [1] модель FHP-GP [2] является параллельной композицией [3] двумерных клеточных автоматов [4] с булевыми и целочисленными алфавитами и гексагональной структурой соседства.

Постобработка заключается в преобразовании дискретных значений концентрации модельных частиц, находящихся в клетках с дискретными координатами, в непрерывные значения давления газа в любых заданных точках плоскости, а дискретных значений скорости этих частиц — в непрерывные значения проекций скорости потока на координатные оси.

Необходимость перехода к непрерывным координатам обусловлена невозможностью размещения на гексагональной структуре окрестностей осреднения с одинаковым шагом вдоль обеих координатных осей и, тем более, под углом к осям, так чтобы центр каждой из окрестностей совпал с центром какого-либо гексагона. Также максимально возможные значения проекций скорости набора модельных частиц в клетке на координатные оси не совпадают в силу того, что на одну ось ненулевые проекции дают все шесть векторов скорости, а на другую - только четыре.

В работе исследован фактор анизотропии, вносимой гексагональной структурой клеточного массива. Сформулирован метод осреднения для получения изотропных полей скорости и давления с произвольным углом наклона к координатным осям. Выводы подкреплены результатами вычислительных экспериментов на кластере МСЦ.

Литература

1.Медведев Ю.Г. Программный комплекс клеточно-автоматного моделирования газопорошковых потоков // Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ'2012): труды международной научной конференции. 2012. Челябинск. С. 732.

- 2.Медведев Ю.Г. Клеточно-автоматная модель формирования порошковой струи // Прикладная дискретная математика. 2009. №3. С. 50–58.
- 3.Bandman O.L. Cellular automata composition techniques for spatial dynamics simulation // Bull. Nov. Comp. Center, Comp. Science. 2008. V. 27. P. 1–39.
- 4.Toffoli T. Cellular automata as an alternative to (rather than approximation of) differential equations in modeling physics // Physica D. 1984. V. 10. P. 117–127.

## **ПОСТРОЕНИЕ ПОЛИГОНАЛЬНОЙ ОБОЛОЧКИ НАД ОБЪЁМНЫМИ ДАННЫМИ ПРОЕКЦИОННЫЙ-ИТЕРАЦИОННЫМ МЕТОДОМ**

*И. О. Михайлов*

Уральский федеральный университет, Екатеринбург

При работе с объёмными данными часто возникает необходимость построения полигональной оболочки над ними. В первую очередь это используется для визуализации непосредственно полученной оболочки или для эффективной визуализации объёмных данных методом трассировки лучей, но может использоваться и для повышения эффективности некоторых операций над объёмными данными, в первую очередь связанных с отслеживанием лучей. Рассмотренный в этой работе метод по сравнению с другими алгоритмами, с одной стороны позволяет не ограничиваться локальной окрестностью вокселя, что позволяет строить гладкие поверхности, и с другой стороны отбрасывает избыточные данные что значительно снижает сложность работы алгоритма. Алгоритм основан на построении 6 проекций (2 по каждой координатной оси), вычислению по этим проекциям фрагментов полигональной оболочки и их объединению. В случае не выпуклого объекта построение проекций выполняется несколько раз. Важно заметить что все описанные операции легко могут быть выполнены параллельно, в том числе и на видеокarte. Благодаря этому при реализации данного метода, было получено вычисление объёмной оболочки в реальном времени.

Литература

- 1.Rosenthal P., Linsen L. Direct Isosurface Extraction from Scattered Volume Data //IEEEVGTC Symposium on Visualization, pages 99#106, 2006.
- 2.Lorensen W.E., Harvey E. Cline Marching Cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm. //Computer Graphics, Vol. 21, Nr. 4, July 1987
3. Zoe J. Wood Mathieu Desbrun Peter Schroder David Breen Semi-Regular Mesh Extraction from Volumes //VIS '00 Proceedings of the conference on Visualization '00, Pages 275-282



## **НОВЫЕ ПОДХОДЫ В ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

*Э. А. Эшаров, Б. М. Шумилов*

Томский государственный архитектурно-строительный университет,  
Томск

В работе будет представлено решение задачи синтеза поверхностей автомобильных дорог по материалам лазерного сканирования на основе метода срединных траекторий [1] и параметрической идентификации нелинейных дифференциальных уравнений [2]. Для построения динамических моделей закономерностей поведения отдельных показателей используются рекуррентные сплайны [3, 4]. Рассматривается задача разработки методов восстановления нелинейных дифференциальных уравнений, моделирующих динамическую систему, по наблюдаемым реализациям ее переменных на основе применения сплайн-вейвлетов для анализа и обработки численных данных лазерных измерений [5].

Литература

1. Марчук Г.И. Математические модели в иммунологии. Вычислительные методы и эксперименты. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Наука. Гл. ред. Физ.-мат. лит., 1991.
2. Константинова Л.И., Кочегуров В.А., Шумилов Б.М., Параметрическая идентификация нелинейных дифференциальных уравнений на основе сплайн-схем, точных на многочленах // Автоматика и телемеханика, 1997. № 5. С. 53-63.
3. Эшаров Э.А., Шумилов Б.М., Аркабаев Н.К. Построение и оптимизация прогнозов на основе рекуррентных сплайнов первой степени // Сибирский журнал вычислительной математики. 2010. Т. 13. №2. С. 227-241.
4. Esharov E., Shumilov B. Processing of materials of laser scanning of roads on the basis of recursive cubic splines // in International Scientific Conference of Young Scientists: Advanced Materials in Construction and Engineering (15-17 October 2014, Tomsk, Russia) / IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 71 (2015) 012046.
5. Кудуев А.Ж., Эшаров Э.А., Аркабаев Н.К. Визуализация данных лазерного сканирования автомобильных дорог с использованием ортогонального GNM-мультивейвлет-преобразования // Вестник ТГАСУ. 2014. № 2. С. 157-167.

## **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧИ О РАЗРУШЕНИИ ПЛОТИНЫ**

*А. А. Потоцкая, М. Д. Михайлов*

Томский государственный университет, Томск

Задача о разрушении плотины описывается уравнениями мелкой воды [1], то есть предполагается, что среда представляет собой достаточно тонкий слой, глубина которого много меньше его продольного размера, поэтому вертикальной составляющей скорости в слое можно пренебречь. Дополнительно предполагается, что жидкость несжимаема, находится в поле сил тяжести и ее температура постоянна.

Рассматривается задача о течении над неровностями дна на промежутке  $[0, L]$ . Начальные и граничные условия взяты из [2] для сравнения результатов полученных в данной работе и в [2]. При исследовании процесса переноса примеси в данную систему уравнений мелкой воды добавляется уравнение, описывающее конвективный перенос загрязнения в потоке. Фоновая концентрация в начальный момент задается равной нулю, что не соответствует реальным условиям, однако этот факт не оказывает существенного влияния на характер исследуемого процесса. Величина концентрации, задающая поступление примеси, взята из [3].

Решение ищется численно с помощью схемы Лакса-Фридрихса [4]. Результаты численного решения данной задачи совпадают с данными из [2] и [3], что говорит об адекватности численных методов для решения данной задачи.

Литература

- 1.Рожественский Б. Л. Системы квазилинейных уравнений и их приложения к газовой динамике / Б. Л. Рожественский, Н. Н. Яненко. - М.: Наука, 1978. -688 с.
- 2.Булатов О.В. Регуляризованные уравнения мелкой воды и эффективный метод численного моделирования течений неглубоких водоемах //О.В.
- 3.Булатов, Т.Г. Елизарова. - Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2011. – Т. 51. – №. 1. – С. 170-184.
- 4.Чуруксаева В. В., Михайлов М. Д. Численное моделирование потока жидкости над рельефом дна//Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. – 2014. – №. 1.-С 51-60
- 5.Toro E. F. Riemann solvers and numerical methods for fluid dynamics: a practical introduction. – Springer Science & Business Media, 2009.

## **ИСКУССТВЕННЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В РЕШЕНИИ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ**

*Е. В. Семёнов*

Томский государственный университет, Томск

Искусственные нейронные сети способны обобщать входные данные и устанавливать закономерности между ними, если они существуют. Для решения обратной задачи целесообразно использовать нейронную сеть со скрытым слоем большей размерности, чем входные/выходные слои. Такой подход обусловлен тем, чтобы сеть смогла выделить более фундаментальные зависимости входных данных. Также немаловажными аспектами проектирования искусственной нейронной сети являются нормализация входных данных и масштабирование выходных данных. Передаточную функцию следует выбирать такой, чтобы для входных данных сохранялись не только линейные зависимости, но и нелинейные. Проще всего добиться этого использованием функций активации различных типов на разных слоях нейронной сети.

Для обучения многослойных искусственных нейронных сетей используют алгоритм обратного распространения ошибки. Основная идея этого алгоритма состоит в следующем: сеть обрабатывает входные данные и вычисляет ошибку на выходе, далее величина этой ошибки проходит путь обратно, от выхода сети к входу, учитывая вес межнейронных связей. В итоге каждый нейрон каждого слоя искусственной нейронной сети корректируется в зависимости от величины ошибки, накопленной только им. Параметр скорости обучения в таком случае лучше выбирать как функцию от конкретного нейрона, или весового коэффициента. В таком случае, вдоль каждого из направлений решения в  $n$ -мерном пространстве, сеть будет передвигаться на отдельный шаг, соответствующий выбранному направлению. Тем самым будет обеспечена равномерная минимизация функции ошибки, что важно, если поверхность ошибки имеет множество локальных минимумов.

Работа выполнена по Государственному Заданию Министерства образования и науки РФ, №5.628.2014/К.

## **ОБ АДДИТИВНОЙ РАЗНОСТНОЙ СХЕМЕ ДЛЯ РАСЧЕТА НА КЛАСТЕРЕ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ МНОГОСЛОЙНОГО ОРТОТРОПНОГО КОЛЬЦА**

*М. В. Михневич, В. Н. Берцун*

Томский государственный университет, Томск

В работе рассматривается краевая задача о нагреве многослойного ортотропного цилиндра. Для аппроксимации используется неявная аддитивная схема расщепления [1] с первым порядком точности.

Расчетные формулы параллельного алгоритма основаны на использовании обычных и встречных прогонок на каждом дробном слое [2,3].

В работе приводится анализ разностной схемы и результаты расчетов на кластере ТГУ СКИФ Siberia. Проведена оценка ускорения и эффективности алгоритма для различных вариантов разрешения неявных разностных схем с учетом сгущающейся сетки и увеличения количества процессоров.

Литература

1. Самарский А.А., Николаев Е.С. Методы решения сеточных уравнений – М.: Наука, 1978.
2. Логанова Л В., Головашкин Д.Л. Параллельный алгоритм реализации метода встречных циклических прогонок для двумерных сеточных областей. // Журнал "Вычислительные технологии", Т. 16, N 4. Новосибирск: , 2011 г., с. 64-71.
3. Головашкин Д. Л., Филатов М. В. Параллельные алгоритмы метода циклической прогонки. // Компьютерная оптика. 2005. №. 27, С. 123-130.
4. Старченко А.В., Берцун В.Н. Методы параллельных вычислений: - Томск: Из-во Том. ун-та 2013. – 232 с.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ МОРФОГЕНЕЗА РАСТЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ РАЗНОСТНЫХ СХЕМ**

*Р. Ю. Уколов, Н. Н. Меркулова*

Томский государственный университет, Томск

Изучается модель типа "реакция-диффузия", описывающая взаимодействие двух реагирующих веществ на равномерных и адаптивных сетках. Классическая модель типа "реакция-диффузия" задаётся системой дифференциальных уравнений второго порядка в частных производных параболического типа с соответствующими начальными и граничными условиями [1]. Физически задача описывает реактор с непроницаемыми стенками заданной длины. Считается, что в начальный момент времени известны начальные концентрации реагирующих веществ. Параметры модели подбираются путём исследования на устойчивость стационарных решений упрощённой системы ОДУ с начальными условиями. Система ОДУ получается в предположении, что реактор имеет достаточно малый объём и время усреднения реакции по объёму за счёт диффузии много меньше характерного времени всей реакции. Модель типа "реакция-диффузия" исследуется с помощью явной схемы и схемы Кранка-Николсон на равномерных и адаптивных сетках [2]. Разностные схемы исследованы на аппроксимацию, устойчивость, сходимости. По построению

ным разностным схемам проводится вычислительный эксперимент на компьютере при заданных значениях параметров. Результаты оформлены в виде графиков и демонстрируют характер поведения гормона роста и ингибитора с течением времени.

Литература

1.Полякова М.С. О диссипативных структурах в одной модели химической реакции с диффузией/ М. С. Полякова // Вестник Московского университета. – 1974. – №6. – С. 643-648.

2.Рихтмайер Р., Мортон К. Разностные методы решения краевых задач. - М.: Мир, 1972.- 420с.

## **РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ТЕЧЕНИЯ НЕСЖИМАЕМОЙ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ В КОРОТКОМ ПЛОСКОМ КАНАЛЕ С ОБРАТНЫМ УСТУПОМ ДЛЯ БОЛЬШИХ ЧИСЕЛ РЕЙНОЛЬДСА**

*А. А. Фомин<sup>1</sup>, Л. Н. Фомина<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Кузбасский государственный технический университет, Кемерово

<sup>2</sup>Кемеровский государственный университет, Кемерово

Рассматривается задача течения несжимаемой вязкой жидкости в плоском канале с обратным уступом. Математическая постановка задачи формулируется на базе системы нестационарных двумерных уравнений Навье-Стокса. Считается, что в начальный момент времени жидкость покоится. В качестве граничных условий выбраны условия прилипания и непротекания на стенках канала; на входе в канал задан параболический профиль продольной компоненты скорости, а поперечная компонента скорости равна нулю; на выходе из канала первые производные от обеих компонент скорости по продольной координате полагаются равными нулю. Построены решения задачи для чисел  $Re$  от 1000 до 10000 с шагом 1000 на сеточном разбиении области решения  $6001 \times 301$  с равномерным шагом, размер которого выбран из условия насыщения графиков решения для продольной компоненты скорости и давления. Получено хорошее согласование с литературными данными [1].

Использование в алгоритме решения задачи корректирующей процедуры баланса массы позволило моделировать течение жидкости в коротких каналах, в которых выходная граница ставится не далеко вниз по течению, где поток является однонаправленным, а в непосредственной близости от уступа, несмотря на то, что выходная граница пересекает образующиеся в потоке вихри. Показано, что при этом зона минимального искажения решения около выходной границы не превышает 10 % от общей длины канала. За счет сокращения длины расчетной области удалось

увеличить число Рейнольдса до 10000, в то время как в литературе максимальное значение  $Re$  для подобной задачи не превышает 3000 [1].

Литература

1. Erturk E. Numerical solutions of 2-D steady incompressible flow over a backward-facing step, Part I: High Reynolds number solutions // Computers & Fluids, 2008, v.37, p.633–655.

## **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ТЕЧЕНИИ НЕСЖИМАЕМОЙ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ В КОРОТКОМ ПЛОСКОМ КАНАЛЕ С ОБРАТНЫМ УСТУПОМ**

*А. А. Фомин, Л. Н. Фомина*

Кузбасский государственный технический университет, Кемерово  
Кемеровский государственный университет, Кемерово

На базе динамической задачи стационарного течения несжимаемой вязкой жидкости в коротком канале с обратным уступом рассматривается задача распространения тепла за счет нагрева нижней стенки канала от основания уступа до выходной границы. Математическая постановка в безразмерном виде включает в себя систему уравнений Навье-Стокса и уравнение баланса тепла, а также граничные условия: известны температуры потока на входе в канал и нижней стенки, на остальных стенках используются условия адиабатики. Обсуждаются различные варианты граничных условий на выходе из канала.

Приводятся решения для  $Pr = 0.71$  (не варьируется) и  $Re$  от 100 до 1000 при высоте уступа  $h_s = 0.5$ , а также для  $h_s$  от 0.1 до 0.9 при  $Re = 1000$ . Отмечается хорошее согласование с известными литературными данными [1]. Показывается, что при некоторых значениях входных параметров решение задачи по всей расчетной области принципиально зависит от вида граничного условия на выходе из канала вплоть до возникновения нефизических результатов.

Литература

1. Teruel F. E. Fogliatto E. Numerical simulations of flow heat transfer and conjugate heat transfer in the backward-facing step geometry / Mecanica Computational, 2013, vol.32, no.39, pp.3265–3278.

## **К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ СЛОВАРЯ ПРИЗНАКОВ ПРИ КЛАССИФИКАЦИИ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ**

*Е. И. Амишарюк, О. П. Федорова*

Томский государственный университет, Томск

Одной из важных и сложных распознавания изображений является задача выбора рабочего словаря признаков, составленного из наиболее информативных признаков. Успешное решение этой задачи обеспечивает как снижение размерности вектора признаков, подлежащих анализу, так и повышение эффективности системы распознавания в целом [1].

В работе исследуются распределение дескрипторов, по коллекциям изображений. Проводится сравнительный анализ результатов классификации методами FOREL, k-means и с помощью классификатора Байеса. Строится алгоритм отображения наблюдаемого распределения признака на нормальное. На примерах, показано, что использование системы признаков, имеющих нормальное распределение и разделяющих функций для случая нормального распределения, приводит к ошибкам классификации порядка 7% - 12%, даже при малой размерности вектора признаков, включающих только средние по каналам RGB и средние по преобразованию Фурье. Приводятся предварительные результаты классификации, получаемые при включении в модель данных инвариантных моментов Ну [2].

Литература

1. Колочкин В.Я., Нгуен К.М. Выбор рабочего словаря признаков в алгоритмах распознавания изображений на основе Фурье-дескрипторов. [http://cyberleninka.ru/journal/n/nauka-i-obrazovanie-elektronnoe-nauchno-tehnicheskoe-izdanie?issue\\_id=886470#issues-list-title](http://cyberleninka.ru/journal/n/nauka-i-obrazovanie-elektronnoe-nauchno-tehnicheskoe-izdanie?issue_id=886470#issues-list-title)
2. Hu M.K. Visual Pattern Recognition by Moment Invariants // IEEE Transactions on Information Theory, Vol IT- 8, - 1962

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ОЗЕРАХ УМЕРЕННЫХ ШИРОТ**

*Б. О. Цыденов, С. А. Проханов, А. В. Старченко*  
Томский государственный университет, Томск

Разработана негидростатическая 2.5D математическая модель, учитывающая суточную изменчивость термического и ветрового состояния нижней границы атмосферы, для воспроизведения сезонных циркуляций в глубоком озере. Моделирование нестационарного течения проводится путём численного решения системы уравнений тепловой конвекции в приближении Буссинеска с использованием неявных разностных схем второго порядка как по пространству, так и по времени. Турбулентное замыкание системы осуществляется с помощью двухпараметрической  $k-\omega$  модели Уилкокса и алгебраических соотношений для коэффициентов турбулентной диффузии. Решение конвективно-диффузионных уравнений основано

на методе конечных объёмов, обеспечивающем выполнение интегральных законов сохранения.

Осуществлено моделирование термогидродинамических процессов, связанных с явлением весеннего речного термобара, в озерах умеренных широт: Камлупс (Британская Колумбия, Канада) и Байкал (Сибирь, Россия). Результаты расчетов для условий озера Камлупс согласуются со схемой сценариев «зима», «ранняя весна», «середина весны», «поздняя весна», составленной на основе натуральных наблюдений. Вычислительные эксперименты, проведенные для случая озера Байкал, показали, что поступающая в озеро речная вода, которая от озёрной отличается высокой минерализацией и температурным режимом, способствует формированию термобара и его дальнейшему продвижению к центру озера в период весенне-летнего прогрева.

Исследование выполнено в рамках госзадания Минобрнауки России №5.628.2014/К.

## **О РЕШЕНИИ ЗАДАЧ СОПРЯЖЕННОГО КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА ТВЕРДЫХ ТЕЛ**

*В. Д. Гольдин, В. И. Лаева*

НИИ прикладной математики и механики, Томский государственный университет, Томск

## **ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД ДЛЯ РАСЧЕТА ТУРБУЛЕНТНОГО ТЕЧЕНИЯ СО СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ**

*В. В. Чуруксаева, А. В. Старченко*

Томский государственный университет, Томск

Представлена математическая модель и численный метод для исследования турбулентных течений в речных потоках на основе приближения мелкой воды. В модели учтено влияние трения о дно русла, ветровое трение, силы Кориолиса, сложной геометрии речного русла с притоками и изменением его глубины. Для описания турбулентной структуры речного течения, в модель включена осредненная по глубине версия двухпараметрической модели турбулентности с дополнительными слагаемыми генерации турбулентности за счет трения речного потока о дно русла. Численный метод представляет собой модификацию известного метода SIMPLE Патанкара, в которой дополнительно рассматривается изменение глубины потока в конвективных и диффузионных членах уравнений.



Математическая модель и численный метод были применены для исследования турбулентного течения в открытых каналах в лабораторных условиях и стационарного турбулентного течения в небольшой неглубокой реке, русло которой резко меняет своё направление.

Результаты расчетов по разработанной численной модели для течения в лабораторных установках хорошо согласуются с экспериментальными данными и расчетами других авторов. На основании проведенного сопоставления расчетов показано, что более высокого качества воспроизведения наблюдений в рециркуляционных течениях можно достичь, применяя численную схему более высокого порядка аппроксимации для конвективных членов транспортных уравнений. Результаты расчетов в S-образном речном потоке с препятствиями, соответствуют представлениям о таких течениях и закономерностям, наблюдаемым при их изучении.

## **РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ ПОСТРОЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ КРУПНОМАСШТАБНЫХ НАУЧНЫХ ЗАДАЧ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ ПЕРСОНАЛЬНОГО ГРИДА**

*И. А. Ботыгин<sup>1</sup>, В. А. Крутиков<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Томский политехнический университет, Томск

<sup>2</sup>Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН

При обработке сверхбольших рядов геофизических данных, на первое место выходит распараллеливание и итеративное выполнения отдельных математических процедур их обработки. Время обмена результатами вычислений в таких математических процедурах не является критическим фактором для ускорения процессов обработки. Это обстоятельство делает перспективным разработку распределенной мультиагентной вычислительной системы со слабо связанными совокупностями вычислителей в качестве инструментария информационно-компьютерной поддержки портала анализа и прогноза климатических процессов.

Предложена концепция формирования открытой горизонтально масштабируемой распределенной информационно-вычислительной среды, представляемой в виде децентрализованной архитектуры ресурсов (узлов вычислений, узлов хранения, каналов связи) с децентрализованным управлением вычислениями и данными. Реализация этапов обработки данных геофизических наблюдений на узлах такой слабосвязанной вычислительной системы осуществляется либо стандартными и существующими, либо специально разработанными программными средствами. Все теку-

щие системно-ориентированные задачи в такой распределенной системе возлагаются на специальное программное обеспечение, взаимодействующее либо с устанавливаемыми на терминалах исследователей профессиональными клиентскими агентами, либо с web-ориентированной апплет-сервлетной системой связи.

## **ПРОГРАММНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПО БАЛАНСИРОВКЕ НАГРУЗКИ В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ**

*Е. А. Нагиев, И. А. Ботыгин*

Томский политехнический университет, Томск

В настоящее время большое внимание уделяется разработке распределенных вычислительных систем [1, 2]. Однако разработка такой системы непременно влечет за собой ряд серьезных трудностей. Необходимо учитывать, как будут функционировать устройства из различных уровней иерархии в системе.

Чтобы показать важность данной задачи был проведен программный эксперимент, в ходе которого к центру управления (ЦУ) подключался имитатор запросов на обработку данных. Имитатор создавал в отдельных потоках агенты, которые подключались к ЦУ и отправляли данные с разным промежутком времени. Соответственно, ЦУ обрабатывал и отправлял данные обратно. Несмотря на то, что эксперимент проходил всего лишь на одном компьютере с четырехъядерным процессором, простого имитатора было достаточно, чтобы ЦУ перестал успевать обрабатывать все запросы.

В настоящем сообщении описывается архитектура распределенного центра обработки (ЦО), в которой используется специальный буфер для накопления запросов. Из него ЦО выбирает запросы на выполнение. При достижении некоторого критического значения запросов на обработку в буфере, специальный программный модуль (диспетчер), запускаемый в отдельном потоке, перенаправляет поступающие запросы на дополнительные вычислительные узлы (ДВУ) ЦО. Чем быстрее заполняется буфер, тем больше ДВУ будет подключено. Благодаря такой архитектуре можно добиться высокой эффективности и скорости обработки данных, ведь, фактически, можно подключить неограниченное количество ДВУ.

Литература

1. Косяков М.С. Введение в распределенные вычисления. – Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2014. – 155 с.
2. Kshemkalyani A. D., Singhal M. Distributed Computing: Principles, Algorithms, and Systems. – Cambridge University Press, 2008. – 754 p.

## **ГИБРИДНЫЙ ПОДХОД К АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОТЛАДКЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ**

*А. Ю. Власенко*

Кемеровский государственный университет, Кемерово

До настоящего времени отладка параллельных программ остается "камнем преткновения" для разработчиков. При этом для программ, использующих параллелизм на уровне потоков, существуют зарекомендовавшие себя качественные инструменты автоматизированной отладки [2]. Для технологий программирования типа MPI распространение получили только диалоговые отладчики [1]. Между тем подход диалоговой отладки обладает рядом существенных недостатков [3].

В работе изложена идея построения инструментального средства отладки программ для систем с распределенной памятью, базирующегося на сочетании статического анализа и автоматизированного контроля корректности во время исполнения. Каждый из этих методов подходит для обнаружения ошибок различных типов, что в комбинации дает высокую эффективность отладки без непосредственного участия пользователя.

Литература

1. Barney, В. TotalView [Электронный ресурс] / В. Barney // <https://computing.llnl.gov/tutorials/totalview/> (дата обращения: 04.08.2015).
2. Intel Parallel Inspector user guide for Linux [Электронный ресурс] // <https://software.intel.com/en-us/intel-inspector-2016-user-guide-linux> (дата обращения: 04.08.2015).
3. Афанасьев, К.Е. Автоматизированный анализ корректности MPI-программ на основе определенных пользователем шаблонов ошибочного поведения [Текст] / К.Е. Афанасьев, А.Ю. Власенко // Вестник Томского Государственного Университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. №1 (26), 2014. С. 75-83.

## **АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ УДАЛЕННОГО ДОСТУПА К ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫМ РЕСУРСАМ**

*С. Г. Кривошеин, Н. Н. Окулов*

Кемеровский государственный университет, Кемерово

Разработка системы удаленного доступа к вычислительным ресурсам ведется в рамках проекта по созданию наукоемкого web-ориентированного программно-технологического комплекса для решения экологических задач.

Помимо системы удаленного доступа, комплекс включает следующие компоненты:

- библиотеку вычислительных задач,
- картографический сервис,
- виртуальный лабораторный практикум,
- систему отладки MPI-приложений.

Взаимодействие между подсистемами строится преимущественно на основе сервис-ориентированного подхода.

Система взаимодействует с другими подсистемами комплекса, принимая от них расчетные задания и возвращая результаты выполнения, а также осуществляет обработку и хранение данных, относящихся к проведению численного эксперимента, включая данные пользователя и данные служебного характера.

Система должна обеспечивать доступ пользователей как к ресурсам, находящимся под административным управлением КемГУ, так и к вычислительным ресурсам других организаций, выполнение заданий на которых, как правило, находится под контролем определенной СПОЗ. Взаимодействие пользователей с системой осуществляется посредством web-интерфейса.

Литература

Окулов, Н.Н. Система автоматического контроля корректности и виртуальная лаборатория как компоненты информационно-вычислительного портала [Текст] / А.Ю. Власенко, Н.Н. Окулов // Научно-технический вестник Поволжья. №6 2011г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2011г. – с. 120-123.

## **ИНСТРУМЕНТАРИЙ РЕШЕНИЯ МАСШТАБИРУЕМЫХ ЗАДАЧ НА РАСПРЕДЕЛЁННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ**

*Е. Н. Перышкова, С. Н. Мамоиленко, А. В. Ефимов*

Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск

В работе рассмотрена задача организации функционирования распределённых вычислительных систем (ВС) при решении масштабируемых задач. Такие задачи допускают решение на подсистемах ВС с разным количеством вычислительных ресурсов. Свойством масштабируемости обладают до 98 % задач [1], решаемых на высокопроизводительных ВС.

Предложена модификация алгоритма планирования системы управления ресурсами (СУР) позволяющая выбрать один из вариантов подсистемы ВС, на котором задача будет решена, на основе паспорта мас-

штабируемой задачи и политик указанных в конфигурационном файле планировщика. Предложения реализованы в СУП PBS TORQUE [2] с встроенным планировщиком pbs\_sched или альтернативным планировщиком MAUI [3]. Показатели процесса планирования при решении масштабируемых задач наборов исследованы на ресурсах мультикластерной вычислительной системы. Масштабируемые задачи генерировались на основе модели рабочей загрузки, предложенной в работе [4].

Работа выполнена при поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации (проект МД-2620-2014.9) и Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 15-07-00048, 13-07-00160).

Литература

1.Lifka D. The ANL/IBM SP scheduling system // Job Scheduling Strategies for Parallel Proc. LNCS. Springer-Verlag, 1995. Vol. 949. P. 295–303.

2.Torque Resource Manager [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.adaptivecomputing.com/products/open-source/torque/> (дата обращения 01.09.2015).

3.Maui Cluster Scheduler [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.adaptivecomputing.com/products/open-source/maui/> (дата обращения 01.09.2015).

4.Cirne W., Berman F. A model for moldable supercomputer jobs. 15th Intl. Parallel & Distributed Processing Symp. 2001.

## **ПОДХОД К СОКРАЩЕНИЮ ЛОЖНЫХ КОНФЛИКТОВ В ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПРОГРАММАХ НА БАЗЕ ТРАНЗАКЦИОННОЙ ПАМЯТИ**

*И. И. Кулагин, М. Г. Курносков*

Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Новосибирск

Альтернативой классическим методам синхронизации потоков параллельных программ (мьютексам, семафорам и др.) является использование программной транзакционной памяти (software transactional memory – STM), в рамках которой программисту предоставляются языковые конструкции или API для формирования в программе транзакционных секций (transactional section). Такие секции – это участки кода, в которых осуществляется защита совместно используемых областей памяти, а не фрагмента программы. Данный подход позволяет существенно повысить масштабируемость широкого класса многопоточных программ.

При выполнении транзакций возможен конфликт – совместное использование пересекающихся областей памяти. Обнаружение таких ситуа-

ций составляет задачи runtime-системы языка. Последнее реализуется путем поддержки информации (метаданных) о состоянии защищаемых областей памяти.

В данной работе предложен подход к сокращению числа ложных конфликтов – ситуаций, при которых конфликты происходят не на уровне данных программы, а на уровне метаданных реализации STM, возникающих при выполнении транзакционных секций, для реализации STM в компиляторе GCC. Суть подхода заключается в варьировании параметров реализации STM в runtime-библиотеке компилятора GCC по результатам предварительного профилирования многопоточных программ (profile-guided optimization). Эффективность подхода исследована на тестовых многопоточных STM-программах из пакета STAMP.

## **ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ БАЛАНСИРОВКА НАГРУЗКИ В СИСТЕМЕ ФРАГМЕНТИРОВАННОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ LUNA**

*Г. А. Шужин*

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск

Система фрагментированного программирования LuNA [1-3] предназначена для параллельной реализации крупномасштабных численных моделей. Фрагментированная программа (ФП) не содержит привязки к ресурсам, что позволяет исполнять ее на вычислительных машинах с различной архитектурой.

Для эффективного исполнения ФП на мультимпьютере с распределенной памятью требуется равномерное распределение данных и вычислений. Перераспределение данных и вычислений для выравнивания нагрузки должно сохранять локальность совместно используемых данных для минимизации коммуникаций между узлами мультимпьютера. Для хорошей масштабируемости балансировка должна быть децентрализованной и использовать коммуникации только между соседними узлами. В работе описывается удовлетворяющий этим свойствам алгоритм динамической балансировки нагрузки и приводятся результаты тестов производительности.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 14-07-00381 а и 14-01-31328 мол\_а).

Литература

1. Malyshkin V.E., Perepelkin V.A., Schukin G.A. Distributed Algorithm of Data Allocation in the Fragmented Programming System LuNA // PACT-2015. Springer, 2015, LNCS vol. 9251, pp. 80-85.
2. Malyshkin V.E., Perepelkin V.A. Optimization Methods of Parallel Execution of Numerical Programs in the LuNA Fragmented Programming System // The Journal of Supercomputing, 2012, vol. 61, issue 1, pp. 235-248.
3. Kalgin K.V., Malyshkin V.E., Nechaev S.P., Tschukin G.A. Runtime System for Parallel Execution of Fragmented Subroutines // PACT-2007. Springer, 2007, LNCS vol. 4671, pp. 544-552.





Научное издание

Восьмая Сибирская конференция по параллельным и  
высокопроизводительным вычислениям

Программа и тезисы докладов  
(28 – 30 октября 2015 года)

Редактор Т.В. Саженова  
Компьютерная верстка А.А. Барт

---

Подписано в печать 05.10.2015 г.  
Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная №1. Печ. л. 5,5; усл. печ. л. 5,1;  
уч.-изд. л. 4,8. Тираж 100 Заказ

---

ОАО «Издательство ТГУ», 634029, г. Томск, ул. Никитина, 4  
ООО «Типография «Иван Федоров»», 634003, г. Томск, Октябрьский взвоз, 1