

**Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова**

**Научная конференция
«ЛОМОНОСОВСКИЕ ЧТЕНИЯ»
17–26 апреля 2017 г.**

Секция высокопроизводительные вычисления

Тезисы докладов

**Межфакультетская кафедра
высокопроизводительных вычислений**

**Москва
2017**

Содержание

1. Программа заседаний	3
2. Б.П. Рыбакин, Н.Н. Смирнов, Л.И. Стамов, В.В. Тюренокова. Построение параллельных алгоритмов для решения трехмерных задач гиперзвуковой газовой динамики	4
3. Ф.С. Зайцев. Высокоскоростной MPI-алгоритм расчёта функций распределения компонентов термоядерной плазмы в ITER	6
4. А.Г. Шишкин. Новый алгоритм автоматического управления составом дейтериево-третиевой смеси в термоядерном реакторе ITER	8
5. Е.П. Сучков. Параллельные алгоритмы решения обратных задач диагностики плазмы методом эpsilon-сетей на высокопроизводительных ЭВМ	9
6. С.В. Степанов. Распределение вычислений по сети ЭВМ в имитационной модели тороидальной плазмы «Виртуальный разряд»	10
7. Ф.А. Аникеев. Быстрый алгоритм расчета движения заряженных частиц в токамаке с использованием графических процессоров	12
8. О.Ю. Сударева. Перспективы использования отечественных процессоров КОМДИВ в высокопроизводительных вычислениях	13

ПРОГРАММА ЗАСЕДАНИЙ

СЕКЦИЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Межфакультетская кафедра высокопроизводительных вычислений

18 апреля, вторник, 16.50

1 учебный корпус, 4 этаж, ауд. 404

1. Построение параллельных алгоритмов для решения трехмерных задач гиперзвуковой газовой динамики.
Доклад профессора Рыбакина Б.П., профессора Смирнова Н.Н., преподавателя Стамова Л.И., мл.науч.сотр. Тюренковой В.В.
2. Высокоскоростной MPI-алгоритм расчёта функций распределения компонентов термоядерной плазмы в ИТЕР.
Доклад профессора Зайцева Ф.С.
3. Новый алгоритм автоматического управления составом дейтериево-третиевой смеси в термоядерном реакторе ИТЕР.
Доклад доцента Шишкина А.Г.
4. Параллельные алгоритмы решения обратных задач диагностики плазмы методом эпсилон-сетей на высокопроизводительных ЭВМ.
Доклад ассистента Сучкова Е.П.
5. Распределение вычислений по сети ЭВМ в имитационной модели тороидальной плазмы «Виртуальный разряд».
Доклад мл.науч.сотр. Степанова С.В.
6. Быстрый алгоритм расчета движения заряженных частиц в токамаке с использованием графических процессоров.
Доклад инженера Аникеева Ф.А.
7. Перспективы использования отечественных процессоров КОМДИВ в высокопроизводительных вычислениях.
Доклад мл.науч.сотр. Сударевой О.Ю.

ПОСТРОЕНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ЗАДАЧ ГИПЕРЗВУКОВОЙ ГАЗОВОЙ ДИНАМИКИ

Б.П. Рыбакин^{1,2,*}, Н.Н. Смирнов^{1,2}, Л.И. Стамов^{1,2}, В.В. Тюренкова^{1,2}

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва.

²Федеральное государственное учреждение

«Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук», Москва.

*rybakin1@mail.ru

Более половины всего газа в галактиках сосредоточено в гигантских молекулярных облаках (ГМО) [1]. Типичный размер такого облака составляет 10 парсеков, а масса, в среднем, составляет порядка 10^5 - 10^6 масс Солнца. В нашей Галактике существует около $4 \cdot 10^3$ таких объектов. Взаимодействие таких ГМО с ударными волнами и столкновения между собой является запускающим механизмом формирования звезд.

В данной работе представлены результаты моделирования процесса ударного воздействия ударных волн на молекулярные облака и столкновения гигантских молекулярных облаков между собой. Число Маха ударной волны $M=7$. В приведенном исследовании пренебрегается эффектами охлаждения облаков по сравнению с энергией ударной волны. Моделирование проводится в трехмерной постановке на сетках сверхбольшого разрешения. Повышенное разрешение позволяет найти и проследить возникающие возмущения, абляцию и развитие неустойчивости МО. Исследованы процессы распространения в МО ударных волн, процессов уноса вещества с поверхности, фрагментации, образования неустойчивости Рихтмайера-Мешкова, образование, развитие и разрушение вихрей. Приведены результаты расчетов, моделирующих взаимодействие ударной волны с плотными, холодными молекулярными облаками.

Для изучения тонких механизмов процессов фрагментации, абляции, образования филаментных структур требуется проведение расчетов на достаточно подробной сетке. Расчеты на больших сетках требуют применения параллельных алгоритмов. В работе используется алгоритм и программа, который позволяет проводить расчеты с использованием многопроцессорных ЭВМ.

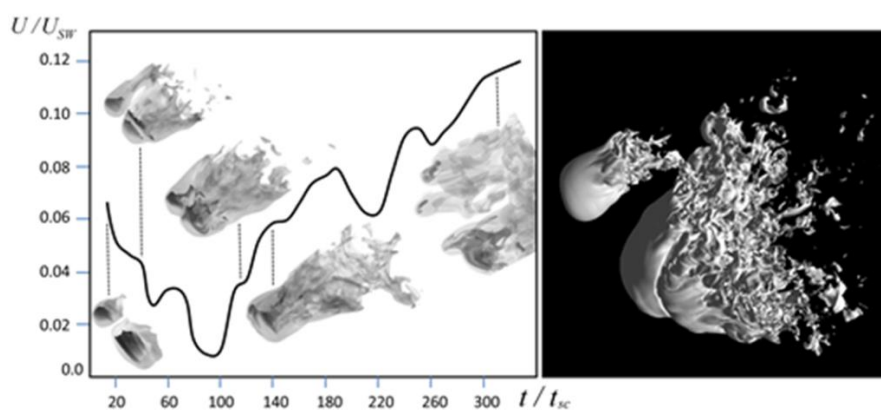


Рис.1. Зависимость скорости центра массы системы двух молекулярных облаков, от времени

Неустойчивость Рихтмаейра-Мешкова возникает из-за нарастания возмущения на границе раздела двух сред с различными плотностями, подвергнутых воздействию ударной волны. На правой половине каждой сферы, формируется вихревое кольцо,

которое с течением времени развивается и образует вихревую структуру. После прохождения ударной волной нескольких диаметров МО, процесс фрагментирования облака усиливается и начинается перемешивание вещества молекулярных облаков с ударной волной и межзвездной средой [2]. Ускорение и замедление центра массы системы молекулярных облаков тесно связано с площадью поверхности облака, с увеличением или уменьшением локального сжатия вещества, а также фрагментирования расщепленных «ядер» и филаментов (Рис.1). Сверхзвуковые возмущения увеличивают перенос массы и импульса между поверхностными слоями облаков и их окружением, и как следствие, процесс фрагментации и разрушения облаков ускоряется.

Литература.

1. S.B. Vinogradov, P.P. Berczik. The study of colliding molecular clumps evolution. *Astronomical and Astrophysical Transactions*. Vol.25, No.4, 2006, 299-316.
2. B. Rybakin, N. Smirnov, V. Goryachev. Parallel Algorithm for Simulation of Fragmentation and Formation of Filamentous Structures in Molecular Clouds. Springer, Supercomputing. Second Russian Supercomputing Days, RuSCDays 2016, Moscow, Russia, September 26–27, 2016, Revised Selected Papers. Editors: Voevodin, Vladimir, Sobolev, Sergey (Eds.), XV, ISBN: 978-3-319-55668-0 pp.146-157

ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ МРІ-АЛГОРИТМ РАСЧЁТА ФУНКЦИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ТЕРМОЯДЕРНОЙ ПЛАЗМЫ В ITER

Ф.С. Зайцев^{1,2}

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, межфакультетская кафедра высокопроизводительных вычислений.

²Научно-исследовательский институт системных исследований РАН, Москва.
fza@mail.ru

Ведущие страны мира, включая Россию, возводят во Франции международный термоядерный реактор-токамак ITER (www.iter.org). Реализация данного проекта должна продемонстрировать перспективность перехода к термоядерной энергетике на основе систем с удержанием плазмы магнитным полем тороидальной конфигурации.

Одним из основных сценариев работы ITER является так называемый индуктивный сценарий с током 15 МА и энерговыделением 500 MW в термоядерной реакции $D + T \rightarrow He^4 (3.5 \text{ MeV}) + n (14.1 \text{ MeV})$. Топливом в этой реакции являются ионы дейтерия D и трития T. Из 500 MW образующейся мощности ~100 MW несут рождающиеся альфа-частицы (ионы He^4) и ~400 MW – нейтроны. Альфа-частицы удерживаются магнитным полем и передают плазме часть своей энергии за счёт кулоновских столкновений с частицами других сортов.

Баланс энергии в плазмы определяется различными физическими процессами. Например, неустойчивости и колебания плазмы могут приводить к его существенному изменению из-за значительного перераспределения ионов по радиусу и потере их на стенку камеры. Знание энергобаланса с учётом подобных эффектов необходимо для построения эффективной технологии поддержания горения термоядерной реакции, для адекватной интерпретации измерений с помощью анализатора нейтральных частиц и для других целей. Поэтому теоретическое предсказание поведения быстрых ионов D, T и He^4 в плазме ITER является одним из важнейших направлений исследований.

Адекватное моделирование поведения быстрых ионов осложняется необходимостью учёта целого ряда кинетических эффектов [1, 2]: отклонения дрейфовых траекторий от магнитных поверхностей; кулоновских столкновений (диффузия и перенос по скорости, рассеяние по питч-углу, неоклассический радиальный транспорт и т.п.); источников и стоков частиц, включая прямые орбитальные потери из плазмы; упругих ядерных столкновений; неустойчивостей и колебаний плазмы; гофрировочной радиальной диффузии в областях плазмы со значительной гофрировкой магнитного поля.

Функция распределения быстрых ионов, учитывающая перечисленные эффекты, описывается усреднённым по дрейфовым траекториям трёхмерным кинетическим уравнением, в котором в качестве переменных выступают время и три фазовые координаты $(\gamma_0, v_0, \theta_0)$ – радиальная, скоростная и угловая характеристика дрейфовой траектории иона соответственно [1, 2]. В уравнении фигурирует первая производная по времени и, в зависимости от рассматриваемых физических эффектов, эллиптический, эллиптико-параболический или эллиптико-ультрапараболический оператор по фазовым переменным. Таким образом, усреднённое кинетическое уравнение относится к параболическому типу. Постановки различных математических задач и численные методы их решения описаны в монографиях [1, 2].

Рассчитать функцию распределения $f(t, \gamma_0, v_0, \theta_0)$ позволяет код FPP-3D [1, 2], разрабатываемый автором вместе с коллегами с 1991 года. Объём его программного обеспечения на настоящий момент составляет около 100 тыс. строк на языке Фортран. Вычисление трёх функций распределения ионов D, T и He^4 на сетке с числом узлов

$N_{\gamma_0} \approx 30$, $N_{v_0} \approx 150$, $N_{\theta_0} \approx 100$ требует около 15 часов на одном процессоре Intel Core i5-2400, CPU 3.1 GHz, 8 GB RAM. Относительно большое время вычислений затрудняет проведение массовых расчётов, необходимых, например, для изучения зависимости энергобаланса от различных параметров плазмы.

Решение трёхмерного кинетического уравнения проводится с помощью двучиклической шестишаговой разностной схемы расщепления с весами, см. п. 2.1.10 в [1] или [2]. На очередном шаге схемы при каждом фиксированном значении одной из переменных происходит обращение двумерного оператора, действующего по двум остальным переменным. Этот оператор представляет собой разреженную ленточную матрицу. Матрица в случае фиксированной переменной γ_0 имеет размерность $N_{v_0} N_{\theta_0} \times N_{v_0} N_{\theta_0}$. Обращение такой матрицы проводится специализированным для разреженной матрицы методом Гаусса, который требует $O(N_1 N_2^2)$ арифметических операций, где $N_1 N_2 \times N_1 N_2$ – размерность матрицы, N_2 – ширина ленты. В результате для выполнения рассмотренного шага схемы требуется $O(N_{v_0} N_{\theta_0}^2 N_{\gamma_0})$ операций. Исследования показали, что основное время вычислений уходит на обращение ленточных матриц, на расчёт коэффициентов уравнения, требующий $O(N_{\gamma_0} N_{v_0}^2 N_{\theta_0} N_{\xi})$ операций, где ξ – угловая переменная, и на расчёт источников в уравнении с помощью $O(N_{\gamma_0} N_{v_0}^2 N_{\theta_0}^2 N_{\xi})$ операций.

Предложена новая модификация MPI-алгоритма распараллеливания решения кинетического уравнения. В основе алгоритма лежит автоматический выбор порядка выполнения вложенных циклов с целью минимизации числа арифметических операций в методе Гаусса и минимизации объёма обменов между MPI-процессами. Новая MPI-опция кода FPP-3D позволяет на той же аппаратуре при использовании четырёх MPI-процессов ускорить вычисления почти в три раза.

В докладе даны постановки современных актуальных задач о поведении быстрых ионов в плазме ИТЕР, описаны детали параллельного метода их решения, представлены результаты методических расчётов и результаты моделирования практически важных физических эффектов.

Работа выполнена при поддержке по программе фундаментальных исследований № 1.33П Президиума РАН.

Литература.

1. Зайцев Ф.С. Математическое моделирование эволюции тороидальной плазмы. 2-е изд. М.: МАКС Пресс, 2011. 640 с.
2. F.S. Zaitsev. Mathematical modeling of toroidal plasma evolution. English edition. - MAKS Press, 2014, 688 p.

НОВЫЙ АЛГОРИТМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ СОСТАВОМ ДЕЙТЕРИЕВО-ТРИТИЕВОЙ СМЕСИ В ТЕРМОЯДЕРНОМ РЕАКТОРЕ ITER

А.Г. Шишкин^{1,2}

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
межфакультетская кафедра высокопроизводительных вычислений.

²Научно-исследовательский институт системных исследований РАН, Москва.
fza@mail.ru

Одной из важных фундаментальных задач термоядерных исследований является автоматическое управление высокотемпературной плазмой тороидальной конфигурации. Задачи управления плазмой в токамаках осложняются рядом факторов, которые должны учитываться при построении контроллеров [1, 2]: нелинейное поведение плазмы; погрешности в экспериментальных измерениях, численных моделях и методах; сильное изменение параметров по радиусу плазменного шнура; наведенные токи в стенках вакуумной камеры и пассивных элементах и др. Кроме того, плазма может резко менять своё состояние, например, из-за развития неустойчивостей.

В докладе представлен новый алгоритм системы автоматического управления составом дейтериево-тритиевой плазмы в проектируемом международном токамак-реакторе ITER. В отличие от традиционных подходов в УТС алгоритм позволяет строить контроллер динамически в реальном времени на основе данных о состоянии плазмы в предыдущие моменты времени. Продемонстрирована эффективность использования параллельных методик для решения задач управления границей и внутренними параметрами плазмы в реальном масштабе времени с обратной связью, для детальной обработки диагностических данных между разрядами.

Работа выполнена при поддержке по программе фундаментальных исследований № 1.33П Президиума РАН.

Литература.

1. F.S. Zaitsev. Mathematical modeling of toroidal plasma evolution. English edition. - MAKS Press, 2014, 688 p.
2. Зайцев Ф.С., Шишкин А.Г., Лукьяница А.А., Сучков Е.П., Степанов С.В., Анিকেев Ф.А. Базовые компоненты аппаратно-программного комплекса моделирования и управления тороидальной плазмой методом эpsilon-сетей на гетерогенных мини-суперкомпьютерах // Труды НИИСИ РАН. - 2016. - Т. 6. - №1 - С. 36-49.

ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ДИАГНОСТИКИ ПЛАЗМЫ МЕТОДОМ ЭПСИЛОН-СЕТЕЙ НА ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ЭВМ

Е.П. Сучков^{1,2}

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
межфакультетская кафедра высокопроизводительных вычислений.

²Научно-исследовательский институт системных исследований РАН, Москва.
suchkov.egor@cs.msu.su

Важным направлением термоядерных исследований является реконструкция равновесия плазмы по измерениям. Данные о равновесии используют большинство моделей и систем управления плазмой. Поэтому оценка погрешности реконструкции имеет фундаментальное значение для правильного понимания процессов как в современных установках, так и в строящихся и проектируемых термоядерных реакторах. Например, результаты, представленные в [1-3] и другие работы показывают, что при измерениях даже с малой погрешностью можно получить существенно различные реконструкции плотности тока и коэффициента запаса устойчивости. Требуется аккуратный расчёт погрешностей реконструкции.

В докладе представлены современные постановки задач о восстановлении равновесия тороидальной плазмы с помощью методики эpsilon-сетей и параллельные алгоритмы их решения. Описано применение данной методики в разрабатываемой в Евросоюзе системе комплексного имитационного моделирования EU-IM (European Integrated Modeling Platform) [4]. Рассмотрен пример анализа измерений, проведённых на токамаке ASDEX Upgrade (Германия). Исследовано влияние расширенного набора данных магнитной диагностики и информации о кинетическом давлении на погрешность восстановления равновесия плазмы.

Особое внимание уделено изложению практики работы с внутренней базой данных EU-IM; описанию системы взаимодействия расчетных кодов, базирующейся на среде Kepler [5]; реализации в EU-IM параллельного алгоритма построения интервалов доверия, позволяющего пользователю получать результаты в режиме реального времени.

Представлены некоторые детали программной реализации с использованием языков Fortran 2008, OpenCL, C, Python.

Работа выполнена при поддержке по программе фундаментальных исследований № 1.33П Президиума РАН.

Литература.

1. Ф.С. Зайцев. Математическое моделирование эволюции тороидальной плазмы. 2е издание. – М.: МАКС Пресс, 2011, 640 с.
2. Zaitsev F.S. Mathematical modeling of toroidal plasma evolution. English edition. – Moscow: MAKS Press, 2014, 688 p.
3. R. Coelho, S. Matejčik, P. McCarthy, E.P. Suchkov, F.S. Zaitsev, EU-IM Team, ASDEX Upgrade Team. Evaluation of epsilon-net calculated equilibrium reconstruction error bars in the European integrated modeling platform. // Fusion Sci. Technol. 2016, v. 69, N 3, p. 611-619.
4. Страница проекта EU-IM: <http://www.efda-itm.eu>
5. <https://kepler-project.org/>

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЙ ПО СЕТИ ЭВМ В ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ТОРОИДАЛЬНОЙ ПЛАЗМЫ «ВИРТУАЛЬНЫЙ РАЗРЯД»

С.В. Степанов^{1,2}

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, межфакультетская кафедра высокопроизводительных вычислений.

²Научно-исследовательский институт системных исследований РАН, Москва.
sergey.v.stepanov@cs.msu.ru

Серьезной проблемой современных численных исследований высокотемпературной плазмы является их высокая ресурсоемкость. При этом зачастую не удается решить задачу проведения вычислительных экспериментов в течение приемлемого времени путем оптимизации кода.

Для повышения эффективности проведения вычислительных экспериментов разработан программный комплекс «Виртуальный разряд» - среда моделирования, призванная в интерактивном режиме организовывать расчетный процесс из набора вычислительных кодов, отслеживать ход их выполнения и визуализировать результаты расчетов [1, 2].

Важной функцией данной среды моделирования является поддержка распределения работы кодов по сети вычислительных узлов. Для решения данной задачи спроектирован и программно реализован клиент-серверный компонент среды. Этот компонент обеспечивает выполнение следующих функций: описание имеющейся в распоряжении вычислительной сети ЭВМ, автоматическое распределение задач по ней и управления ими, мониторинг вычислений.

Данный подход является особенно эффективным при изучении процессов, требующих проведения большого количества вычислительных экспериментов с различными входными данными. При его использовании необходимо лишь один раз описать вычислительный эксперимент в виде ориентированного графа в удобном интерактивном пользовательском интерфейсе и далее, задав различные наборы входных параметров, запускать нажатием одной кнопки параллельное исполнение задач. При этом система автоматически распределит задачи по сети компьютеров и отследит ход их выполнения. В результате существенно упрощается работа пользователя и сокращается время проведения исследований.

В докладе представлены актуальные постановки задач об оптимизации проведения многовариантных численных экспериментов с использованием распределенной сети ЭВМ. На примере задач моделирования тороидальной плазмы показана высокая эффективность предложенной системы. Сформулированы основные направления дальнейшего развития комплекса «Виртуальный разряд». Обсуждены перспективы совершенствования методов проведения вычислительных экспериментов на распределенных вычислительных системах.

Работа выполнена при поддержке по программе фундаментальных исследований № 1.33П Президиума РАН.

Литература.

1. Ф.С. Зайцев, А.Г. Шишкин, А.А. Лукьяница, Е.П. Сучков, С.В. Степанов, Ф.А. Аникеев. Базовые компоненты аппаратно-программного комплекса моделирования и управления тороидальной плазмой методом эpsilon-сетей на гетерогенных мини-суперкомпьютерах. Труды НИИСИ РАН, 2016, т. 6, с. 36-49.

2. Д.П. Костомаров, С.В. Степанов, А.Г. Шишкин. Интегрированная среда моделирования «Виртуальный разряд». Поддержка численных экспериментов для изучения плазмы газовых разрядов. Доклады Академии Наук, 2014, т. 459, № 3, с. 266-269.

БЫСТРЫЙ АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ДВИЖЕНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ТОКАМАКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОРОВ

Ф.А. Аникеев^{1,2}

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
межфакультетская кафедра высокопроизводительных вычислений.

²Научно-исследовательский институт системных исследований РАН, Москва.
snowfed@gmail.com

Одной из распространенных задач математического моделирования является расчет движения частиц в поле некоторой силы. В частности, такая задача возникает при моделировании управляемого термоядерного синтеза в установках токамаках [1], где заряженные частицы находятся в электромагнитном поле тороидальной конфигурации.

Классические подходы, в которых рассматривается усредненная (дрейфовая) траектория частиц в электромагнитном поле, содержат громоздкие сложные формулы, а также имеют в некоторых случаях недостаточную точность. При решении кинетических задач более адекватным, но и более сложным с вычислительной точки зрения, является использование реальных траекторий заряженных частиц. Однако при таком подходе время расчёта траекторий обычно дает основной вклад в общее время решения задачи на ЭВМ.

В данной работе изучается новый подход для вычисления токов в тороидальной плазме, вызванных градиентом давления. Среди таких токов наибольший интерес представляет так называемый бутстреп-ток [2]. Новый подход к расчету бутстреп-тока основан на использовании реальных (не дрейфовых) траекторий заряженных частиц в численном методе решения кинетического уравнения с оператором кулоновских столкновений. Для сокращения времени вычислений траекторий предложен новый эффективный параллельный алгоритм. Алгоритм ориентирован на современные параллельные вычислительные системы, состоящие из многоядерных узлов, каждый из которых содержит несколько графических ускорителей.

Алгоритмы расчета траекторий заряженных частиц и бутстреп-тока в плазме реализованы программно на языках Fortran 2008 и C++11 с применением технологий распараллеливания OpenMP, MPI, OpenCL. Проведены расчеты на вычислительных комплексах НИИСИ [3]. Продемонстрированы большое ускорение параллельных алгоритмов, высокая эффективность использования процессоров и хорошая масштабируемость. Полученные результаты позволяют сделать вывод о высокой эффективности гибридных супер-ЭВМ НИИСИ для решения задач управляемого термоядерного синтеза.

В докладе будет представлена постановка математической задачи, обсуждены параллельные численные алгоритмы, продемонстрированы некоторые результаты численного моделирования кинетики тороидальной плазмы.

Работа выполнена при поддержке по программе фундаментальных исследований № 1.33П Президиума РАН.

Литература.

1. Страница проекта ITER: <http://www.iter.org>
2. Zaitsev F.S. Mathematical modeling of toroidal plasma evolution. English edition. – Moscow: MAKS Press, 2014, 688 p.
3. Компьютеры МСЦ НИИСИ РАН: <http://www.jssc.ru/scomputers.shtml>

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОРОВ КОМДИВ В ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЯХ

О.Ю. Сударева

Научно-исследовательский институт системных исследований РАН, Москва.
olsudareva@gmail.com

В НИИСИ РАН разработана линейка специализированных микропроцессоров обработки сигналов КОМДИВ. В настоящее время эти процессоры используются в гидроакустических комплексах реального времени. Было проведено исследование возможностей применения этих процессоров для решения более широкого класса задач общего назначения. В докладе представлены результаты этого исследования.

Процессоры VM7 [1] и VM9 линейки КОМДИВ представляют собой гибридные системы с управляющим процессором и специализированным математическим SIMD-сопроцессором. Их можно рассматривать как аналог более крупных гибридных систем на основе современных универсальных процессоров и графических ускорителей (GPU), которые в настоящее время широко применяются для высокопроизводительных вычислений. Была разработана методология, позволяющая до начала реализации того или иного алгоритма определить ключевые особенности архитектуры, влияющие на его производительность, и построить эффективную схему вычислений.

Эта методология была рассмотрена на примере трёх алгоритмов из NAS Parallel Benchmarks [2]: FT (быстрое преобразование Фурье), MG (многосеточный метод) и CG (метод сопряжённых градиентов, в частности, SpMV – умножение разреженной матрицы на вектор). Для этих алгоритмов были проведены оценки производительности, а для MG и CG также разработаны реализации для гибридных систем с GPU, с использованием OpenCL. В докладе приводятся результаты тестирования этих реализаций и делаются выводы о «бутылочных горлышках» систем такого типа.

Методология была в дальнейшем перенесена на процессоры КОМДИВ. Для алгоритма БПФ, а также основанной на нём свёртки – базовых в задачах обработки сигналов – были проведены оценки и разработаны эффективные реализации, в которых задействуются специализированные возможности архитектуры процессоров [3]. Для алгоритмов MG и SpMV были проведены оценки и разработаны программные реализации, по тем же принципам, что и для гибридных систем с GPU [4,5]. В докладе представлены данные о производительности этих процедур. Сравнение с производительностью аналогичных процедур на процессорах мировых производителей показало, что процессоры КОМДИВ имеют хороший потенциал для использования в высокопроизводительных вычислениях, в особенности связанных с массивно-параллельной обработкой больших массивов данных.

По результатам исследования были внесены предложения к дальнейшей доработке архитектуры процессоров КОМДИВ.

Литература.

1. НИИСИ РАН, Москва. — Микросхема интегральная 1890VM7Я (КОМДИВ128-РИО). Указания по применению. ЮКСУ.431281.104Д4, 2009.
2. The NAS Parallel Benchmarks: Tech. Rep. RNR-94-007 / D. H. Bailey, E. Barszcz, J. T. Barton et al. — Moffet Field, CA 94035, USA: NASA Ames Research Center, March 1991, revised 1994. — RNR Technical Report.
3. Сударева О.Ю. Эффективная реализация алгоритмов быстрого преобразования Фурье и свёртки на микропроцессоре КОМДИВ128-РИО. — М.: НИИСИ РАН, 2014. — 266 с.

4. Сударева О. Ю. Реализация алгоритма MG из пакета NPВ для многопроцессорного вычислительного комплекса на базе микропроцессора КОМДИВ128-РИО // Труды НИИСИ РАН. — 2015. — Т. 5, № 1. — С. 75–87.
5. Богданов П. Б., Сударева О. Ю. Применение отечественных специализированных процессоров семейства КОМДИВ в научных расчётах // Информационные Технологии и Вычислительные Системы. — 2016. — Т. 3. — С. 45–65.