

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
Лаборатория синтеза параллельных программ



Перепёлкин Владислав Александрович

Язык и система LuNA автоматического конструирования параллельных программ численного моделирования на мультикомпьютерах

(по материалам диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук)

Специальность 05.13.11 — математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей

Научный руководитель: д.т.н., проф. В.Э. Малышкин

Новосибирск — 2020

Проблемы разработки параллельных программ численного моделирования на суперкомпьютерах

Разработка эффективных параллельных программ численного моделирования на суперкомпьютерах сложна, трудоёмка и требует специальной квалификации.

Проблемы параллельного программирования:

- Декомпозиция данных и вычислений
- Распределение и динамическое перераспределение данных и вычислений по узлам
- Организация параллельной обработки распределённых данных
- Настройка на доступные ресурсы и обеспечение масштабируемости

В ряде случаев требуется обеспечение динамической балансировки нагрузки, отказоустойчивости, сохранения контрольных точек и пр.

Необходимо учитывать свойства:

- прикладного алгоритма
- вычислителя
- входных данных задачи

Факторы, повышающие сложность:

- Узлы разной конфигурации
- Использование спецвычислителей (GPU)
- Большое количество узлов

Проблемы реализации сложных моделей на примере метода частиц-в-ячейках

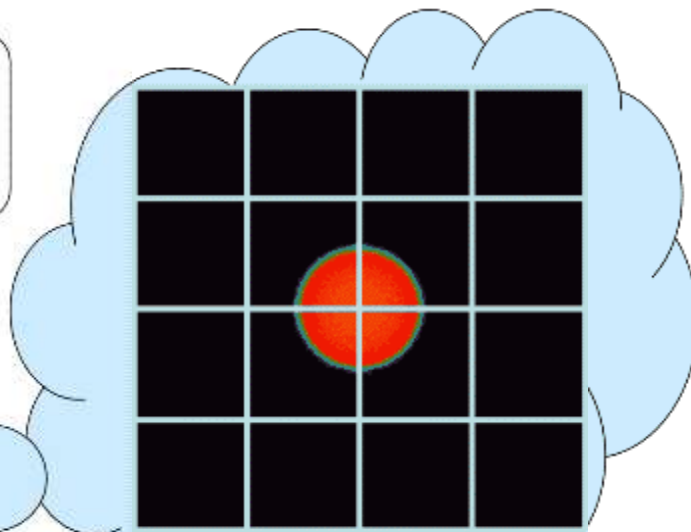
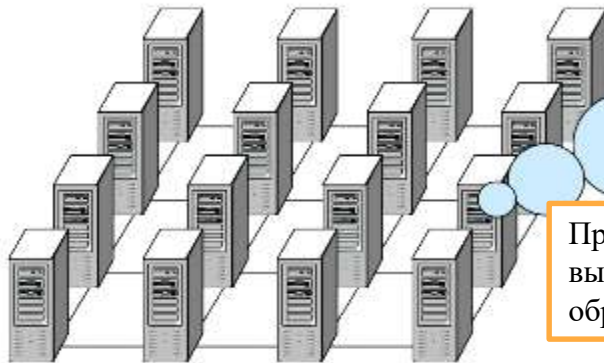
Пыль

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \mathbf{u} \frac{\partial f}{\partial \mathbf{r}} + \frac{\mathbf{F}}{m} \frac{\partial f}{\partial \mathbf{u}} = 0$$
$$\rho(t, \mathbf{r}) = \int f(t, \mathbf{r}, \mathbf{u}) d\mathbf{u}$$

Гравитация

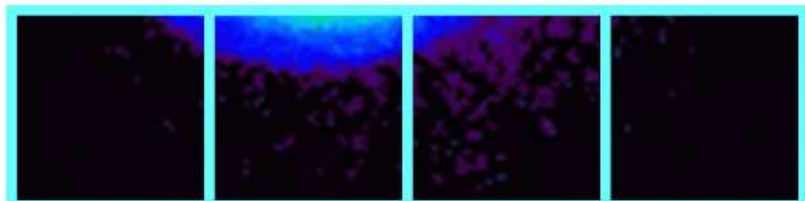
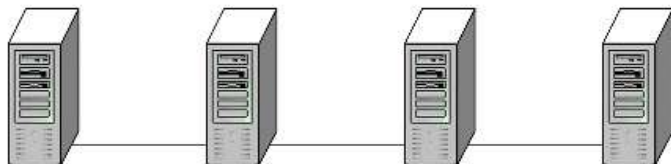
$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = 4\pi\rho$$
$$\mathbf{F} = -\rho \mathbf{grad} \Phi$$

Метод частиц-в-ячейках

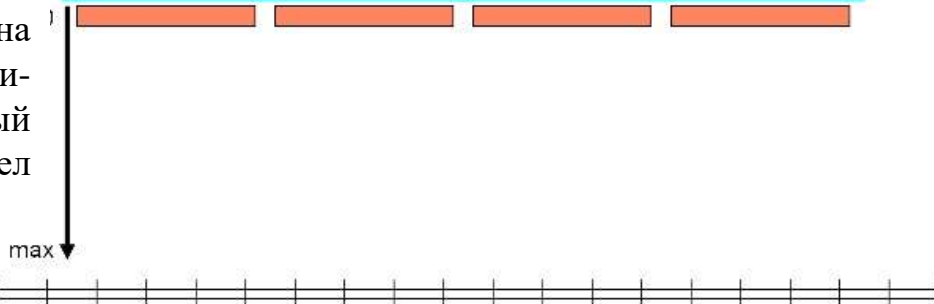


Пространство моделирования разбивается на части по числу вычислительных узлов мультимпьютера, каждый узел обрабатывает свою часть пространства.

Демонстрация возникновения дисбаланса загрузки вычислительных узлов в процессе вычислений



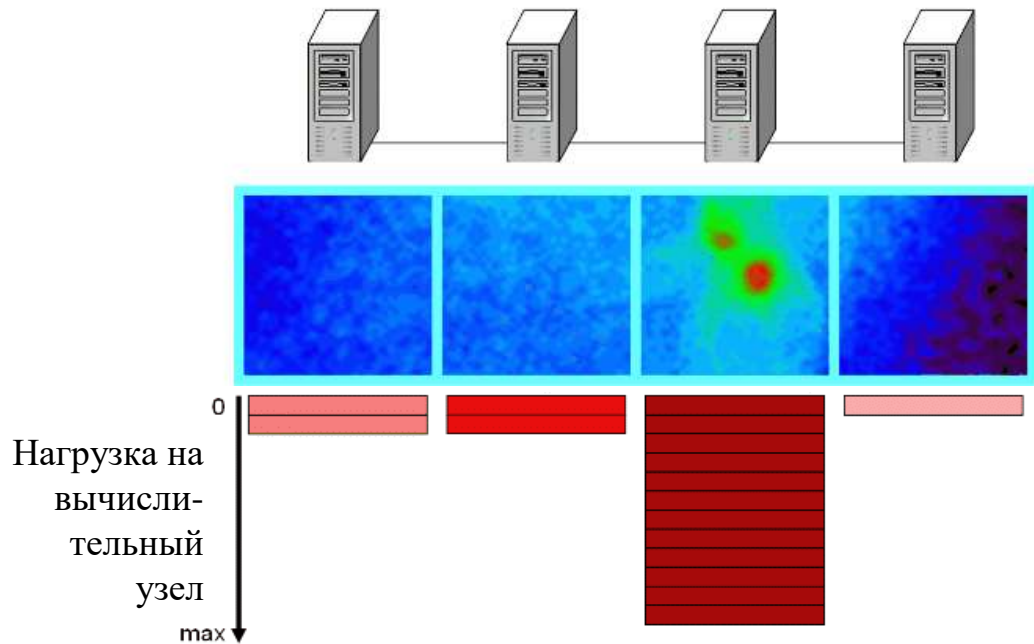
Нагрузка на
вычисли-
тельный
узел



Нагрузка на вычислительные узлы изменяется динамически в зависимости от количества вещества в соответствующей области пространства моделирования. Это приводит к простою недогруженного оборудования.

Анимированная иллюстрация подготовлена С.Е. Киреевым

Демонстрация устранения дисбаланса путём перераспределения нагрузки



При возникновении дисбаланса нагрузки часть нагрузки передаётся с перегруженных вычислительных узлов на недогруженные, чтобы обеспечить эффективную работу мультимпьютера

Актуальность темы работы

Сложности в разработке параллельных программ численного моделирования на суперкомпьютерах препятствуют их применению, поэтому актуально создание и развитие средств автоматического конструирования параллельных программ по высокоуровневому описанию алгоритма.

Преимущества:

- Снижение сложности и трудоёмкости разработки, отладки и модификации параллельных программ.
- Автоматическое применение накопленных человечеством знаний о методах параллельной реализации алгоритмов путём их включения в средства автоматизации.
- Повышение переносимости программ и времени жизни фондов алгоритмов и программ.
- Возможность конструирования программ с различными нефункциональными свойствами.
- В перспективе — повышение качества программ по сравнению с использованием низкоуровневых средств программирования.

Требования к системе автоматического конструирования параллельных программ

- Распределённая память
- Параллельное представление алгоритма
- Крупноблочный параллелизм
- Универсальная модель вычислений
- Управляемое исполнение

Обзор средств автоматического конструирования параллельных программ

	DVMH/ Sapfor, HPF	Hadoop (MapReduce)	HOPMA, Sisal	Charm++, T- Система	PGAS (Titanium, UPC, X-10)	PaRSEC	Legion	LuNA
Распределённая память	+	+	-	+	+	+	+	+
Параллельное представление алгоритма	-	+	+	+	+	+	+	+
Крупноблочный параллелизм	-	+	-	+	+	+	+	+
Универсальная модель вычислений	+	-	+	+	+	-	+	+
Управляемое исполнение	частично	-	-	-	-	+	только вручную	+

Цель работы: разработка системы автоматического конструирования параллельных программ численного моделирования на мультикомпьютерах

Задачи:

- разработка языка описания прикладных алгоритмов LuNA (Language for Numerical Algorithms),
- разработка алгоритмов трансляции и распределённого исполнения прикладных алгоритмов, описанных на языке LuNA,
- реализация разработанных алгоритмов в виде экспериментальной системы конструирования параллельных программ LuNA,
- исследование нефункциональных свойств конструируемых программ.

Результаты работы, обладающие научной новизной

- Модель фрагментированного алгоритма,
- Язык LuNA описания фрагментированных алгоритмов,
- Технологические системные алгоритмы трансляции и распределённого исполнения алгоритмов, представленных на языке LuNA:
 - Алгоритм динамического отображения данных и вычислений на узлы мультимпьютера с учётом соседства данных
 - Алгоритм доставки данных по сети
 - Алгоритм распределённой сборки мусора

Теоретическая значимость работы. Предложенная модель фрагментированного алгоритма позволяет ставить задачу конструирования параллельной программы, реализующей прикладной алгоритм для исполнения на мультимпьютере с заданной конфигурацией и обладающей требуемыми нефункциональными свойствами.

На основе разработанной системы LuNA возможно экспериментальное исследование различных системных алгоритмов конструирования и исполнения параллельных программ (алгоритмов управления распределением ресурсов, планированием вычислений, балансировки вычислительной нагрузки по узлам мультимпьютера и т.п.).

Практическая значимость работы. Разработанная система LuNA упрощает разработку, отладку и модификацию параллельных программ численного моделирования на мультимпьютерах за счёт автоматизации программирования, в том числе отладки коммуникаций, синхронизации процессов и потоков, распределения и динамического перераспределения данных и вычислений по узлам мультимпьютера, сборки мусора.

Положения, выносимые на защиту

- Модель фрагментированного алгоритма,
- Язык LuNA описания фрагментированных алгоритмов,
- Системные алгоритмы трансляции и распределённого исполнения фрагментированных алгоритмов, описанных на языке LuNA,
- Проект системы LuNA автоматического конструирования параллельных программ для мультикомпьютеров.

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность полученных результатов обеспечивается применением использованных методов исследования, а также подтверждается теоретическим анализом и результатами экспериментального исследования. Все основные результаты работы докладывались на конференциях, научных семинарах и опубликованы в профильных рецензируемых печатных изданиях.

Публикации. Основные результаты по теме диссертации изложены в 27 статьях, из которых 18 опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК (из них 7 индексируются в Web of Science, 13 — в Scopus).

На конференциях представлено более 35 докладов.

Личный вклад

Личный вклад автора заключается в разработке модели фрагментированного алгоритма на основе существующего понятия вычислительной модели, разработке языка LuNA описания фрагментированных алгоритмов, разработке системных алгоритмов трансляции и исполнения фрагментированных алгоритмов, представленных на языке LuNA, разработке всех основных компонентов системы LuNA. Все выносимые на защиту результаты получены автором лично.

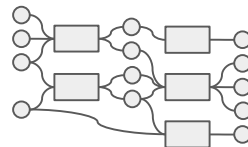
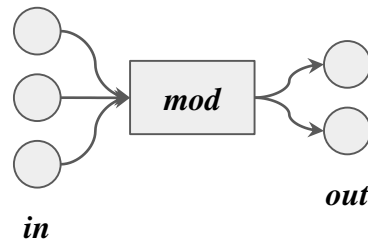
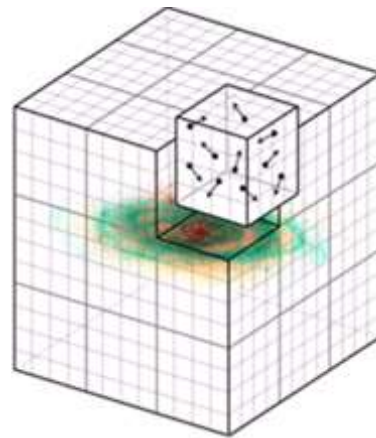
Представление алгоритма

Язык LuNA

Переменные прикладного алгоритма представляются множеством фрагментов данных (ФД) — блоков совместно используемых переменных. Размер ФД ограничен константой, не зависящей от размера задачи.

Операции представляются множеством фрагментов вычислений (ФВ) — триплетами вида $\langle in, mod, out \rangle$, определяющими, что значения множества ФД *out* может быть вычислено из значений множества ФД *in* с помощью некоторого модуля *mod* (например, последовательной процедурой без побочных эффектов).

Множества ФВ и ФД образуют граф фрагментированного алгоритма (ФА).
Исполнение ФА состоит в исполнении всех ФВ по готовности их входных ФД.



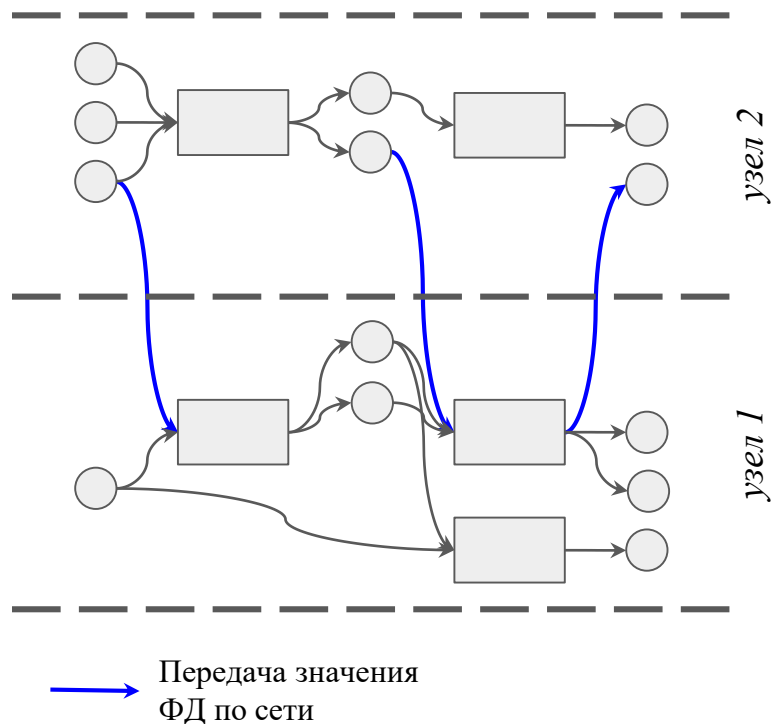
Распределённое исполнение LuNA-программы и автоматическое обеспечение требуемых свойств

Система автоматически распределяет ФВ по узлам мультикомпьютера и исполняет их по готовности входных ФД.

Планирование вычислений, передача значений ФД по сети и сборка мусора выполняются автоматически.

Динамическая балансировка нагрузки достигается перераспределением ФВ и ФД по узлам мультикомпьютера.

Сохранение контрольных точек и обеспечение отказоустойчивости возможно путём сохранения значений ФД.



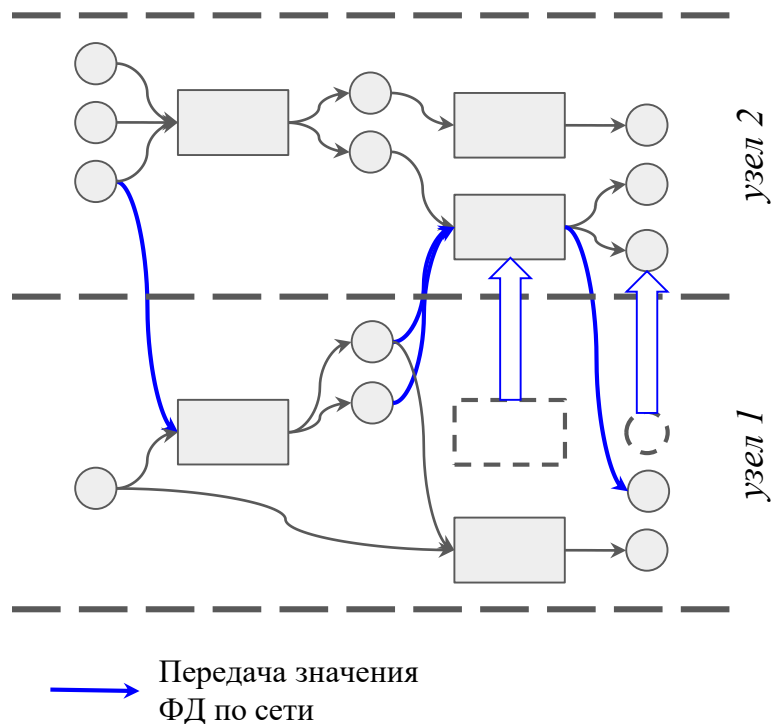
Распределённое исполнение LuNA-программы и автоматическое обеспечение требуемых свойств

Система автоматически распределяет ФВ по узлам мультикомпьютера и исполняет их по готовности входных ФД.

Планирование вычислений, передача значений ФД по сети и сборка мусора выполняются автоматически.

Динамическая балансировка нагрузки достигается перераспределением ФВ и ФД по узлам мультикомпьютера.

Сохранение контрольных точек и обеспечение отказоустойчивости возможно путём сохранения значений ФД.



Сравнение параллельного программирования в MPI и системе LuNA

LuNA	MPI+Threads
	Разработать схему параллельной программы
	Описать последовательные части вычислений в виде C++/Fortran-процедур
Описать и отладить схему параллельной программы на языке LuNA (в виде множества ФВ и ФД)	Запрограммировать и отладить схему параллельной программы средствами MPI+Threads, в т.ч. коммуникации и синхронизацию процессов и потоков
	Обеспечить передачу сообщений на фоне вычислений
	Обеспечить настройку программы на размер вычислителя и сетевую топологию
	Обеспечить статическую и/или динамическую балансировку нагрузки на узлы
	Организовать взаимодействие со спецвычислителем (GPU)

Преимущества системы LuNA:

- Параллельное программирование как таковое отсутствует, параллельная программа конструируется и исполняется автоматически.
- Отсутствует отладка параллельного кода при модификации программы.
- Параллельная программа по-прежнему продумывается в общих чертах программистом, но описывается не низкоуровневыми средствами, а на предметно-ориентированном языке LuNA.

Система LuNA

Основные проблемы эффективного исполнения LuNA-программ

- выбор распределения ФВ и ФД по узлам (и динамического перераспределения)
 - выравнивание нагрузки на процессоры
 - уменьшение нагрузки на сеть за счёт соседства данных
 - увеличение допустимого размера задачи за счёт эффективного использования распределённой памяти
- выбор порядка выполнения ФВ
 - уменьшение объёма промежуточных данных в каждый момент времени
 - увеличение доступного параллелизма в каждый момент времени
- сборка мусора (выявление и удаление ненужных более ФД)
 - уменьшение расхода памяти
- репликация ФД и их своевременная доставка к ФВ
 - уменьшение времени вычислений за счёт повышения доступности данных на узлах

В общей постановке эти проблемы труднорешаемые, поэтому требуются эвристические подходы. 21

Рекомендации: управление исполнением LuNA-программ

Для повышения качества конструируемых программ вводятся рекомендации — высокоуровневые подсказки системе, влияющие на процесс конструирования и исполнения параллельной программы.

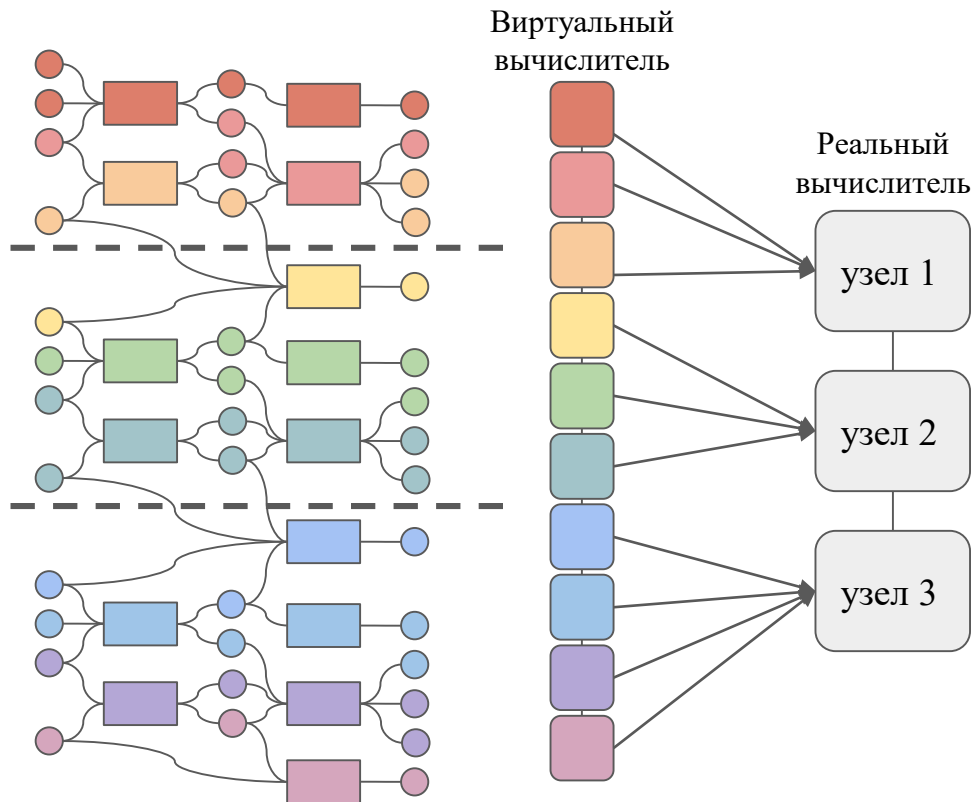
Рекомендации позволяют пользователю объяснить системе, как он видит эффективное исполнение LuNA-программы, на предметно-ориентированном языке, без необходимости программировать это исполнение.

Особенности использования рекомендаций:

- Невозможно нарушить работоспособность программы, влияние оказывается только на нефункциональные свойства (время выполнения, расход памяти и т.п.)
- Оптимизацией исполнения LuNA-программы может заниматься отдельный специалист
- Рекомендации могут быть отброшены или заменены, в т.ч. сгенерированы автоматически

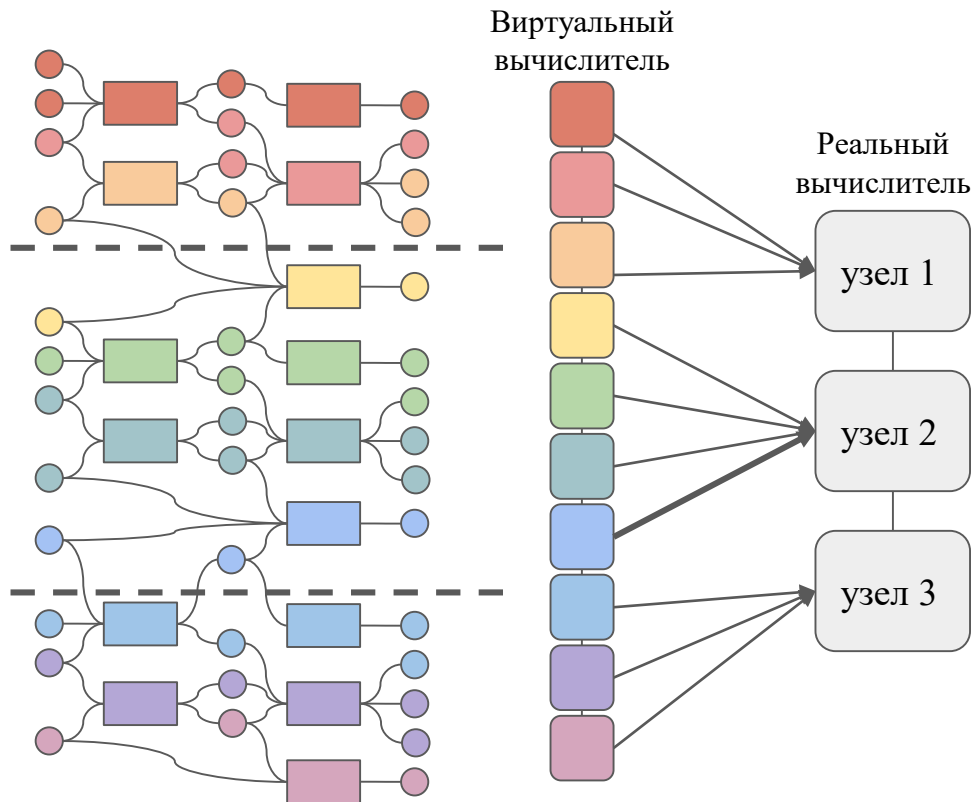
Динамическое распределения ФВ и ФД по узлам с учётом соседства данных

- С помощью рекомендаций статически задаётся отображение множеств ФВ и ФД на виртуальный вычислитель.
- Виртуальный вычислитель динамически отображается на реальный вычислитель
 - Соседство ФВ и ФД на виртуальном вычислителе сохраняется и на реальном
- Переназначение виртуального узла на другой физический влечёт миграцию соответствующих фрагментов на другой узел и позволяет балансировать нагрузку без нарушения соседства данных
- Распределение реализуется полностью децентрализованно и практически не требует накладных расходов.



Динамическое распределения ФВ и ФД по узлам с учётом соседства данных

- С помощью рекомендаций статически задаётся отображение множеств ФВ и ФД на виртуальный вычислитель.
- Виртуальный вычислитель динамически отображается на реальный вычислитель
 - Соседство ФВ и ФД на виртуальном вычислителе сохраняется и на реальном
- Переназначение виртуального узла на другой физический влечёт миграцию соответствующих фрагментов на другой узел и позволяет балансировать нагрузку без нарушения соседства данных
- Распределение реализуется полностью децентрализованно и практически не требует накладных расходов.



Система LuNA: архитектура

LuNA-компилятор:

- Транслирует программу с языка LuNA в исполняемое представление,
- Лексический и синтаксический анализ: flex+bison,
- Основной язык компилятора: Python,
- Последовательные модули компилируются обычным компилятором.

Исполнительная система:

- Распределённо исполняет скомпилированную LuNA-программу,
- Язык: C++,
- Параллельные средства: MPI, потоки C++.



Тестирование

Тест: автоматическое обеспечение динамической балансировки нагрузки на узлы

Идея теста: ускорить вычисления за счёт автоматической динамической балансировки нагрузки на вычислительные узлы

Приложение: моделирование самогравитирующего протопланетного пылевого диска методом частиц-в-ячейках в трёхмерной области*.

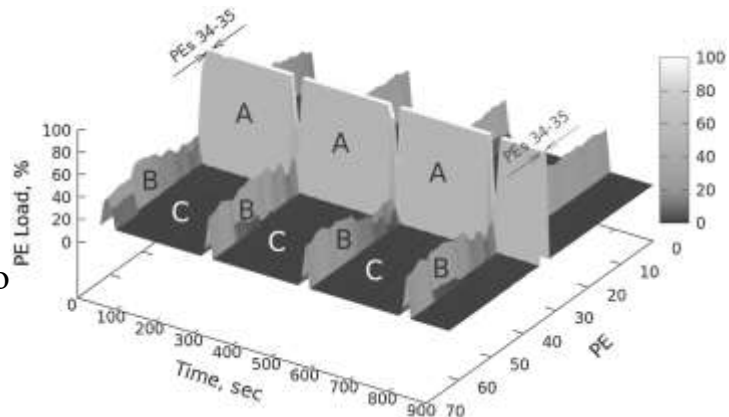
Размер сетки: 64^3 , **кол-во частиц:** 10^7

Фрагментация: 16^3

Время работы без балансировки: **2320 сек.**

Время работы с балансировкой: **860 сек.**

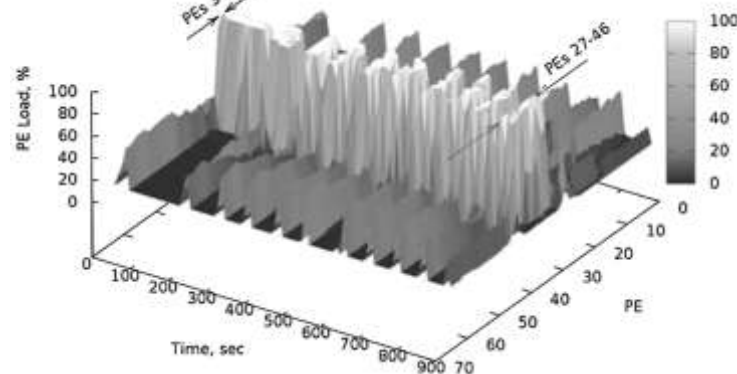
Вывод: динамическая балансировка нагрузки обеспечена автоматически



А — сдвиг частиц

В — решение уравнения Пуассона

С — простой оборудования



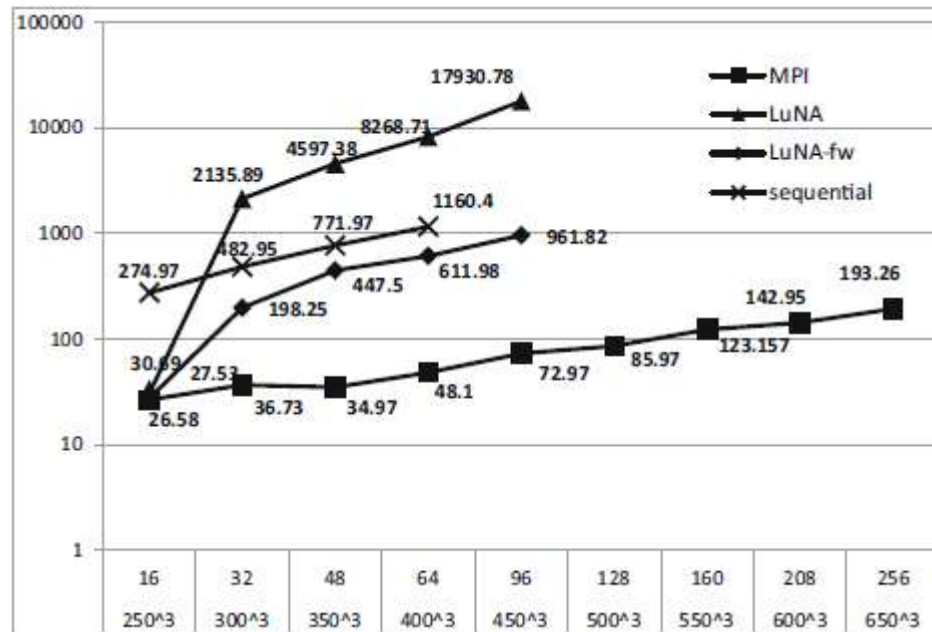
*) Victor E. Malyshkin, Vladislav A. Perepelkin. The PIC Implementation in LuNA System of Fragmented Programming // The Journal of Supercomputing, Special Issue on Parallel Computing Technologies. Springer, 2014. pp. 89-97. DOI: 10.1007/s11227-014-1216-8

Тест: решение краевой задачи фильтрации в системе «нефть—вода—газ»

Идея теста: проверить работоспособность и эффективность системы на реальном приложении

Приложение: решатель краевой задачи фильтрации в системе «нефть—вода—газ»*

Результаты: LuNA-программа успешно обрабатывает на тестовых данных. По производительности уступает ручной MPI-реализации. Настройка исполнения LuNA программы позволяет существенно улучшить её производительность.



Приложение разработано на языке LuNA коллегами из КазНУ им. аль Фараби (г. Алма-Ата, Казахстан)

*) Akhmed-Zaki, D., Lebedev, D., Perepelkin, V. Implementation of a three dimensional three-phase fluid flow (“oil–water–gas”) numerical model in LuNA fragmented programming system // Journal of Supercomputing (2017). - 73(2). Springer, 2017. pp. 624-630. DOI: 10.1007/s11227-016-1780-1

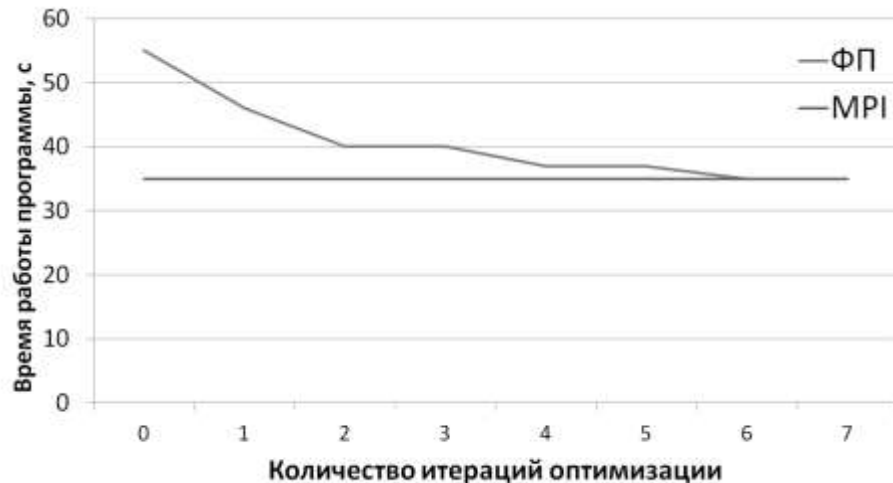
Тест: Автоматическая адаптация исполнения LuNA-программы на основе профилирования

Идея теста: Автоматически настроить отображение фрагментов LuNA-программы на узлы мультикомпьютера на основе профилирования

Приложение: умножение плотных матриц размера 6000×6000

Алгоритм настройки: Путём анализа профиля исполнения программы выявлялись дисбалансы нагрузки, и в моменты дисбаланса часть фрагментов переназначалась (для последующих запусков) с перегруженных на недогруженные узлы.

Результат: За серию прогонов цикла настройки время выполнения сократилось до времени выполнения той же задачи, реализованной вручную средствами MPI.



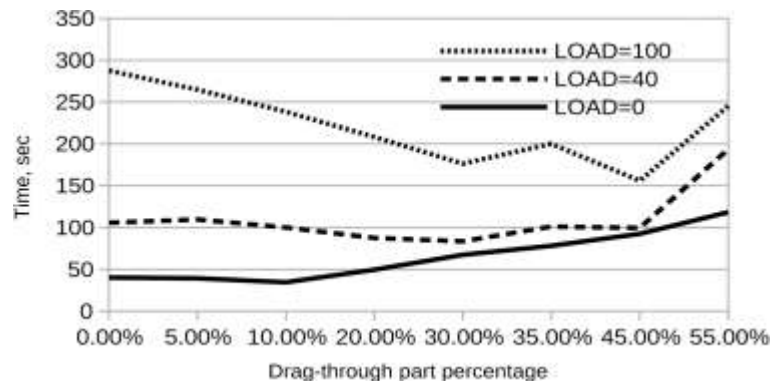
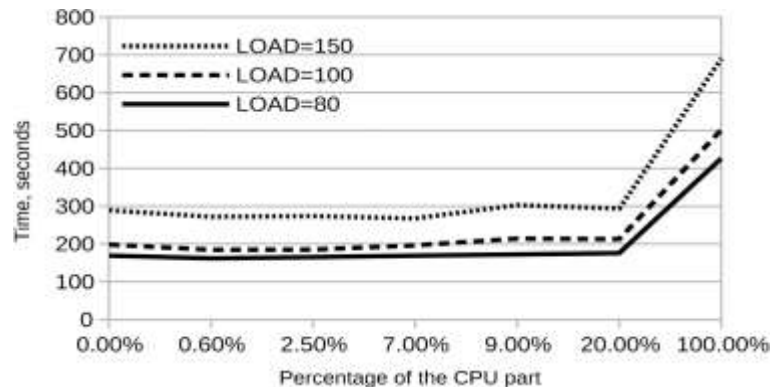
Тест: Автоматизация использования спецвычислителей на примере GPU

Идея теста: проверить автоматизацию использования спецвычислителей при выполнении LuNA-программ.

Приложение: модельная задача, решаемая явным методом на регулярной сетке. Объём вычислений на каждый узел сетки является параметром (LOAD).

Результат: задача успешно отработывает на гибридном вычислительном узле (CPU+GPU), причём лучшее время достигается совместным использованием и CPU, и GPU.

Поддержка GPU реализована Н.А. Беляевым



Список приложений, реализованных в системе LuNA

Решение модельного уравнения теплопроводности в двух- и трёхмерном случае

- Akhmed-Zaki, D., Lebedev, D., Perepelkin, V. Implementation of a 3D model heat equation using fragmented programming technology // J Supercomput. 2019. pp. 7827-7832. DOI: 10.1007/s11227-018-2710-1

Реализация операций редуccionного типа на примере модельной задачи суммирования множества массивов данных

- V.E. Malyshkin, V.A. Perepelkin, A.A. Tkacheva. Control Flow Usage to Improve Performance of Fragmented Programs Execution // In Proc 13th International Conference on Parallel Computing Technologies. LNCS 9251. Springer, 2015. pp. 86-90. DOI: 10.1007/978-3-319-21909-7_9.

Решение уравнения Пуассона методом Зейделя в трёхмерной области

- Malyshkin. V., Perepelkin. V., Schukin G. Scalable Distributed Data Allocation in LuNA Fragmented Programming System // Journal of Supercomputing, S.I.: Parallel Computing Technologies - 2017. Springer, 2017. pp. 1-7. DOI: 10.1007/s11227-016-1781-0

Решение двумерного эллиптического уравнения попеременно-треугольным методом

- B. Daribayev, V. Perepelkin, D. Lebedev, D. Akhmed-Zaki. Implementation of the Two-Dimensional Elliptic Equation Model in LuNA Fragmented Programming System // 2018 IEEE 12th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT). 2018. pp. 1-4.

Решение модельного уравнения теплопроводности методом IADE_RB_CG

- С.Е. Киреев, В.А. Перепёлкин. Исследование производительности реализации метода IADE в системе фрагментированного программирования LuNA // Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ'2016): труды международной научной конференции (28 марта - 1 апреля 2016 г., г. Архангельск). Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2016. с. 780

Блочнo-синхронная клеточно-автоматная модель реакции окисления монооксида углерода на поверхности палладия

- В.А. Перепелкин, А.А. Ткачёва. Особенности параллельной реализации синхронных и блочно-синхронных клеточных автоматов в технологии фрагментированного программирования // XIII Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям. Новосибирск, 2012. с. 29.

Клеточно-автоматное моделирование просачивания влаги сквозь пористую почву

Заключение

Разработаны язык и система LuNA автоматического конструирования параллельных программ численного моделирования на мультикомпьютерах:

- Предложена модель фрагментированного алгоритма,
- Разработан язык LuNA описания фрагментированных алгоритмов,
- Разработаны системные алгоритмы трансляции и распределённого исполнения фрагментированных алгоритмов, описанных на языке LuNA,
- Спроектирована и реализована система LuNA, автоматического конструирования параллельных программ для мультикомпьютеров.

Дальнейшие планы

- Доработка и разработка новых системных алгоритмов, обеспечивающих более высокое качество генерируемых программ для прикладных алгоритмов различных классов.
- Доработка программного кода системы с целью повышения удобства пользователя.
- Использование системы LuNA для поддержки технологии активных знаний*.

*) Malyshkin V.E. Active Knowledge, LuNA and Literacy for Oncoming Centuries // Springer, LNCS, Vol. 9465, pp. 292-303.

Список публикаций (журналы из списка ВАК)

1. V.E. Malyshkin, V.A. Perepelkin, A.A. Tkacheva. Control Flow Usage to Improve Performance of Fragmented Programs Execution // **In Proc 13th International Conference on Parallel Computing Technologies. LNCS 9251**. Springer, 2015. pp. 86-90. DOI: 10.1007/978-3-319-21909-7_9. (Web of Science)
2. Victor E. Malyshkin, Vladislav A. Perepelkin, Georgy A. Schukin. Distributed Algorithm of Data Allocation in the Fragmented Programming System LuNA // **In Proc 13th International Conference on Parallel Computing Technologies. LNCS 9251**. Springer, 2015. pp. 80-85. DOI: 10.1007/978-3-319-21909-7_8. (Web of Science)
3. 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 // **In Proc 13th International Conference on Parallel Computing Technologies. LNCS 9251**. Springer, 2015. pp. 489-497. DOI: 10.1007/978-3-319-21909-7_47. (Web of Science)
4. Victor E. Malyshkin, Vladislav A. Perepelkin. The PIC Implementation in LuNA System of Fragmented Programming // **The Journal of Supercomputing**, Springer, 2014. pp. 89-97. DOI: 10.1007/s11227-014-1216-8. (Web of Science)
5. Victor Malyshkin, Vladislav Perepelkin. Optimization methods of parallel execution of numerical programs in the Luna fragmented programming system // **The Journal of Supercomputing**, Volume 61, Number 1 (2012). Springer, 2012. pp. 235-248. DOI: 10.1007/s11227-011-0649-6. (Web of Science)
6. Victor E. Malyshkin, Vladislav A. Perepelkin. LuNA Fragmented Programming System, Main Functions and Peculiarities of Run-Time Subsystem // **Parallel Computing Technologies. 11th International Conference, PaCT 2011, Proceedings. LNCS 6873**. Springer, 2011. pp. 53-61. (Web of Science)

Список публикаций (журналы из списка ВАК)

7. Victor Malyshkin, Vladislav Perepelkin. Optimization of Parallel Execution of Numerical Programs in Luna Fragmented Programming System // **Methods and Tools of Parallel Programming Multicomputers, Second Russia-Taiwan Symposium, МТПП 2010. LNCS 6083.** Springer, 2010. pp. 1-10. (Web of Science)
8. Akhmed-Zaki, D., Lebedev, D., Perepelkin, V. Implementation of a 3D model automated heat equation using fragmented programming technology // **Journal of Supercomputing**, 2019. pp. 7827-7832. DOI: 10.1007/s11227-018-2710-1. (Scopus)
9. Akhmed-Zaki, D., Lebedev, D., Malyshkin, V., Perepelkin, V. Automated construction of high performance distributed programs in LuNA system // **15th International Conference on Parallel Computing Technologies, PaCT 2019; Almaty; Kazakhstan. LNCS 11657.** Springer, 2019. pp. 3-9. DOI: 10.1007/978-3-030-25636-4_1. (Scopus)
10. B. Daribayev, V. Perepelkin, D. Lebedev, D. Akhmed-Zaki. Implementation of the Two-Dimensional Elliptic Equation Model in LuNA Fragmented Programming System // **2018 IEEE 12th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT).** 2018. pp. 1-4. (Scopus)
11. Malyshkin. V., Perepelkin. V., Schukin G. Scalable Distributed Data Allocation in LuNA Fragmented Programming System // **Journal of Supercomputing.** Springer, 2017. pp. 1-7. DOI: 10.1007/s11227-016-1781-0. (Scopus)
12. Akhmed-Zaki, D., Lebedev, D., Perepelkin, V. Implementation of a three dimensional three-phase fluid flow (“oil–water–gas”) numerical model in LuNA fragmented programming system // **Journal of Supercomputing (2017).** - 73(2). Springer, 2017. pp. 624-630. DOI: 10.1007/s11227-016-1780-1. (Scopus)
13. Nikolay B., Perepelkin. V. Automated GPU Support in LuNA Fragmented Programming System // **Parallel Computing Technologies. PaCT 2017. LNCS**, vol 10421.. Springer, Cham, 2017. pp. 272-277. DOI: 10.1007/978-3-319-62932-2_26. (Scopus)
14. Малышкин В.Э., Перепёлкин В.А., Щукин Г.А. Распределённый алгоритм управления данными в системе фрагментированного программирования LuNA // **Проблемы информатики.** No 1(34). 2017. с. 78-88.

Список публикаций (журналы из списка ВАК)

15. Перепёлкин В.А., Софронов И.В., Ткачёва А.А. Автоматизация конструирования численных параллельных программ с заданными нефункциональными свойствами на базе вычислительных моделей // **Проблемы информатики**. No 4(37). ИВМиМГ СО РАН (Новосибирск), 2017. с. 47-60.
16. Ажбаков А.А., Перепёлкин В.А. Разработка и реализация переносимых алгоритмов распределенного исполнения фрагментированных программ на неоднородных вычислителях // **Проблемы информатики**. No 1(42). ИВМиМГ СО РАН (Новосибирск), 2019. с. 51-69.
17. Д. Ахмед-Заки, Д. Лебедев, В. Малышкин, В. Перепелкин. Автоматизация конструирования распределенных программ численного моделирования в системе LuNA на примере модельной задачи // **Проблемы информатики**. No 4(45). ИВМиМГ СО РАН (Новосибирск), 2019. с. 53-64.
18. В.А. Перепелкин, И.И. Сумбатьянц. Стенд для отладки и тестирования качества работы локальных системных распределенных алгоритмов динамической балансировки нагрузки // **Вестник Южно-Уральского Государственного Университета**, секция «Вычислительная математика и информатика». — том 4, № 3 (2015). 2015. с. 55-66.

Список публикаций

1. В.А. Перепелкин. Компилятор с языка представления фрагментированных программ // Труды конференции молодых ученых. Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, 2009. с. 136-141.
2. V.E. Malyshkin, V.A. Perepelkin, V.K. Grankin, A.V. Talnikov. Automatic Provision of Dynamic Load Balancing in Fragmented Programs // Proceedings of the 12th International Conference on Humans and Computers. Aizu, Japan, 2009. pp. 230-234.
3. В.А. Перепелкин. Представление алгоритмов в технологии фрагментированного программирования // Труды Пятой Сибирской конференции по параллельным и высокопроизводительным вычислениям. Под ред. проф. А.В. Старченко. Томск: Изд-во Том. Ун-та, 2010. с. 149-152.
4. В.А. Перепелкин. Проблема распределения ресурсов мультимпьютера в технологии фрагментированного программирования // Научный сервис в сети Интернет: поиск новых решений: Труды Международной суперкомпьютерной конференции (17-22 сентября 2012 г., г. Новороссийск). М.: Изд-во МГУ, 2012. с. 398-401.
5. Д.В. Лебедев, В.А. Перепелкин. Реализация одномерной краевой задачи нефть-вода в системе фрагментированного программирования LuNA // Материалы XIV Международной конференция "Высокопроизводительные параллельные вычисления на кластерных системах". ПНИПУ, г. Пермь, 2014.
6. Д.В. Лебедев, В.А. Перепелкин. Численное решение одномерной краевой задачи фильтрации жидкости для системы "нефть-вода" и ее реализация в системе фрагментированного программирования LuNA // Вестник Казахского национального университета им. Аль-Фараби, серия математика, механика информатика. No 3(82). 2014. с. 64-73.
7. Малышкин В.Э., Перепелкин В.А. Реализация метода частиц-в-ячейках в системе фрагментированного программирования LuNA // Научный сервис в сети Интернет: многообразие суперкомпьютерных миров Труды Международной суперкомпьютерной конференции. Российская академия наук Суперкомпьютерный консорциум университетов России. 2014. с. 328-334.

Список публикаций

8. Перепелкин В.А., Сумбатьянц И.И. Стенд для отладки и тестирования качества работы локальных системных распределенных алгоритмов динамической балансировки нагрузки // Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ'2015) Труды международной научной конференции. 2015. с. 448-455.

9. В.Э. Малышкин, В.А. Перепёлкин. Автоматизация программирования в системе конструирования распределённых численных программ LuNA // Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях (ИАМП-2018): материалы XIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных с международным участием, 1-3 ноября 2018 г.. Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. - Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2018. с. 524-527.

Тезисов: 26

Конференции

1. МНСК 2008. XLVI международная научной студенческая конференция «Студент и научно-технический прогресс»: Информационные технологии. Новосибирск, 2008.
2. Конференция молодых ученых ИВМиМГ СО РАН. Новосибирск, 2009.
3. 12th International Conference on Humans and Computers. Aizu, Japan, 2009.
4. СКПВВ 2009. Пятая Сибирская конференция по параллельным и высокопроизводительным вычислениям. Томск, 2009.
5. Всероссийская конференция молодых ученых «Неравновесные процессы в сплошных средах». Пермь, 2009.
6. МТПР 2010. Methods and Tools of Parallel Programming Multicomputers, Second Russia-Taiwan Symposium. Vladivostok, Russia, 2010.
7. XI Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям. Новосибирск, 2010.
8. PaCT 2011. Parallel Computing Technologies. 11th International Conference. Kazan, Russia. 2011.
9. СКПВВ 2011. Шестая Сибирская конференция по параллельным и высокопроизводительным вычислениям. Томск, 2011.
10. ICAM-2012. Новые информационные технологии в исследовании сложных структур: материалы Девятой Российской конференции с международным участием. Пос. Катунь Алтайского края, 2012.
11. ПаВТ 2012. Параллельные вычислительные технологии. Новороссийск, 2012.

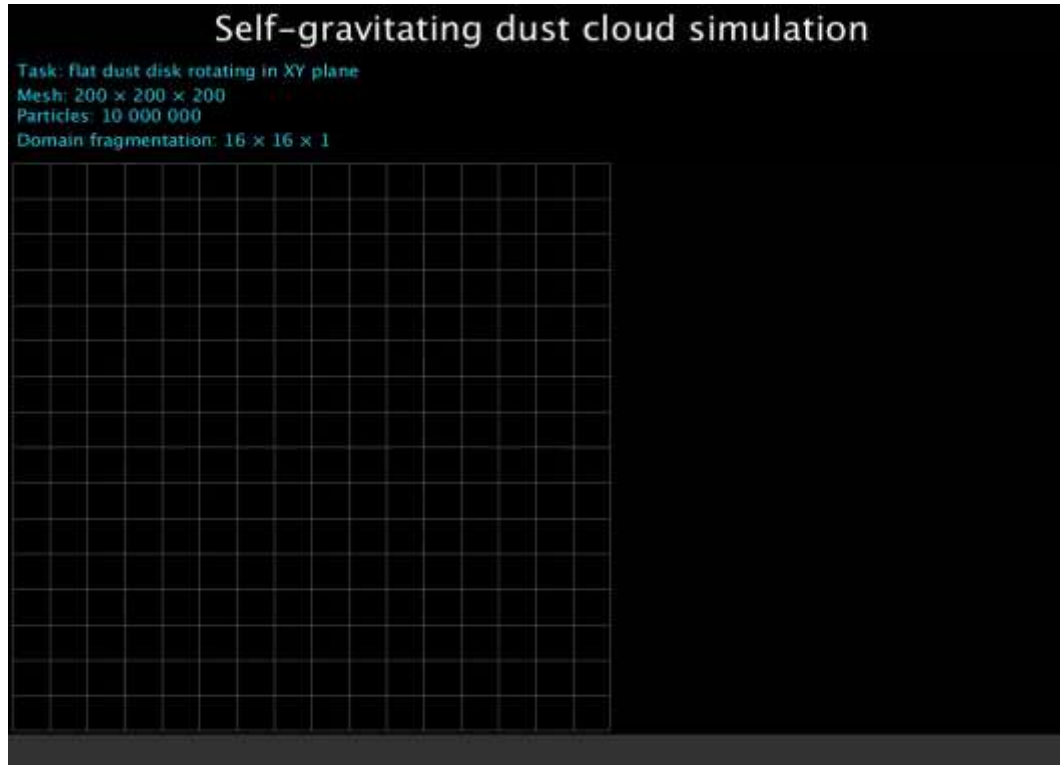
Конференции

11. Научный сервис в сети Интернет: поиск новых решений: Международная суперкомпьютерная конференция. Новороссийск, 2012.
12. XIII Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям. Новосибирск, 2012.
13. Седьмая Сибирская конференция по параллельным и высокопроизводительным вычислениям. Томск, 2013.
14. Десятая международная азиатская школа-семинар «Проблемы оптимизации сложных систем». Кыргызская Республика, Иссык-Кульская область, 2014.
15. VIII Казахстанско-российская Международная Научно-Практическая Конференция «Математическое моделирование в научно-технологических проблемах нефтегазовой отрасли». Казахстан, Атырау, 2014.
16. XIV Международная конференция «Высокопроизводительные параллельные вычисления на кластерных системах». ПНИПУ, г. Пермь, 2014.
17. Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики. Новосибирск, 2014.
18. Научный сервис в сети Интернет: многообразие суперкомпьютерных миров. Новороссийск, 2014.
19. PaVT 2015. Параллельные вычислительные технологии. Екатеринбург, 2015.
20. PaCT 2015. 13th International Conference on Parallel Computing Technologies. Petrozavodsk, Russia, 2015.
21. Международная конференция «Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики – 2015». Новосибирск, 2015.

Конференции

22. СКПВВ 2015. Восьмая Сибирская конференция по параллельным и высокопроизводительным вычислениям. Томск, 2015.
23. ПаВТ 2016. Параллельные вычислительные технологии. Архангельск, 2016.
24. Материалы XVII Всероссийской конференция молодых учёных по математическому моделированию. Новосибирск, 2016.
25. PaCT 2017. 14th International Conference on Parallel Computing Technologies. Nizhni Novgorod, Russia, 2017.
26. MSR 2017. Марчуковские научные чтения - 2017. Новосибирск, 2017.
27. ПаВТ 2017. Параллельные вычислительные технологии, XI международная конференция. Казань, 2017.
28. ИАМП 2018. Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях, XIII Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных с международным участием. Бийск, 2018.
29. ICAM-2018. Новые информационные технологии в исследовании сложных структур Материалы Двенадцатой конференции с международным участием. Пос. Катунь Алтайского края, 2018.
30. AICT 2018. IEEE 12th International Conference on Application of Information and Communication Technologies. Almaty, Kazakhstan, 2018.
31. PaCT 2019. 15th International Conference on Parallel Computing Technologies. Almaty, Kazakhstan, 2019.

Спасибо за внимание



Анимированная иллюстрация подготовлена С.Е. Киреевым