

Министерство образования и науки РФ

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского
Национальный исследовательский университет

Ф О Р У М
СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ОБРАЗОВАНИИ, НАУКЕ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ
ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ
НА КЛАСТЕРНЫХ СИСТЕМАХ

МАТЕРИАЛЫ XII ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

Нижегород, 26–28 ноября 2012 г.

Нижегород
Издательство Нижегородского государственного университета
2012

УДК 681.3.012:51
ББК 32.973.26–018.2:22
В93

В93 **Высокопроизводительные параллельные вычисления на кластерных системах.** Материалы XII Всероссийской конференции (Н. Новгород, 26–28 ноября 2012 г.) / Под ред. проф. В.П. Гургеля. – Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета, 2012. – 496 с.

Отв. за выпуск К.А. Баркалов

ISBN 978-5-91326-223-3

Сборник материалов Двенадцатой Всероссийской конференции «Высокопроизводительные параллельные вычисления на кластерных системах», состоявшейся 26–28 ноября 2012 г. в рамках форума «Суперкомпьютерные технологии в образовании, науке и промышленности» на базе Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского, содержит тезисы докладов, посвященных основным направлениям развития проблематики высокопроизводительных вычислений в науке и образовании: принципам построения кластерных систем и методам управления параллельными вычислениями, параллельным методам и программным системам решения сложных вычислительных задач, технологиям распределенных вычислений и др.

ISBN 978-5-91326-223-3

ББК 32.973.26–018.2:22

Поддержка конференции



Российский фонд фундаментальных исследований



Компания Intel



Компания Hewlett-Packard



Компания NVIDIA



Компания «Ниагара Компьютерс»



Информационно-аналитический центр Parallel.Ru



Газета научного сообщества «Поиск»

© Нижегородский госуниверситет
им. Н.И. Лобачевского, 2012

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ПОСТРОЕНИЯ БОЛЬШИХ КОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ СО СВОЙСТВАМИ «МАЛОГО МИРА»

А.П. Демичев^{1,2}, В.А. Ильин^{1,2}, А.П. Крюков^{1,2}, С.П. Поляков²

¹*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва*

²*Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, Москва*

Предлагается подход к разработке коммуникационных сетей суперкомпьютеров следующего поколения. Рассмотрен ряд как известных в литературе, так и оригинальных алгоритмов построения сложных сетей со свойствами «малого мира», а именно с медленным (логарифмическим) ростом среднего расстояния между узлами с ростом их числа. При этом сети, построенные на основе этих алгоритмов, имеют базовую структуру регулярной решетки с дополнительными перемычками между узлами, которые и обеспечивают свойства «малого мира». Предложена методика сравнения эффективности алгоритмов различных типов.

Одной из важнейших составляющих суперкомпьютеров является коммуникационная сеть, которая в первую очередь определяет возможность увеличения числа вычислительных узлов, что необходимо для достижения желаемой производительности. Таким образом, одной из ключевых задач, которую предстоит решить на пути к построению суперкомпьютеров следующего поколения, является разработка коммуникационных сетей с хорошими свойствами масштабируемости и возможностью эффективно обслуживать огромное число вычислительных узлов [1].

Тремя основными аспектами проектирования коммуникационных сетей, которые в наибольшей степени определяют их функциональные свойства, являются: топология сети, метод управления потоками и алгоритм маршрутизации. В данной работе обсуждается, в основном, топология коммуникационной сети (в том смысле, в котором термин используется в теории сетей). Два других аспекта очень важны, но выходят за рамки текущего обсуждения. Выбор подходящей топологии жизненно важен для проектирования сети, поскольку маршрутизация и механизмы управления потоком в большой степени основаны на ее свойствах.

В работе рассматриваются только прямые сети, в которых каждый узел является терминальным, действующим и как источник, и как приемник для сообщений. Непрямые сети (содержащие узлы-рутеры, которые используются только для маршрутизации) имеют свои достоинства для ограниченного числа узлов, но плохо масштабируются. В идеальном случае коммуникационная сеть должна была бы быть полностью соединена (полный граф), чтобы позволить одновременную непосредственную связь между всеми парами узлов, достигая оптимальной пропускной способности и задержки. Этот подход также может быть применен к системам с небольшим числом узлов и не масштабируется на большие сети из-за слишком быстрого роста числа необходимых связей между узлами. Пропускная способность сети должна масштабироваться с ростом числа вычислительных узлов, что обеспечивается правильной комбинацией хорошего выбора топологии и алгоритмов маршрутизации.

В данной работе рассматриваются обобщения регулярных решеток с топологией n -мерных торков. В литературе, посвященной сетям, для такой топологии часто используется термин « k -ary n -cube» [2]. Известно, что такие сети при большом числе узлов име-

ют много преимуществ по сравнению с другими архитектурами, например гиперкубами высоких размерностей (см., например, [3]). Важным аргументом в пользу использования регулярных решеток является тот факт, что на такую структуру коммуникационной сети естественным образом отображаются параллельные вычислительные задания, связанные с численным моделированием n -мерных объектов. В частности, коммуникационные сети со структурой трехмерной решетки оптимальны для моделирования трехмерных реальных объектов, а именно такого типа задачи, как предполагается, будут составлять значительную долю задач, решаемых на суперкомпьютерах следующих поколений, в частности суперкомпьютерах экзафлопсного уровня.

Однако при огромном числе узлов, характерном для компьютеров следующих поколений, архитектура регулярных решеток с топологией n -мерных торов имеет и существенные недостатки. В частности, решетки невысокой размерности имеют весьма большую среднюю длину пути между узлами, а решетки высокой размерности, сравнимой с логарифмом числа узлов, трудно реализовать технически из-за большой длины физических коммуникационных каналов. С другой стороны, известно, что наилучшими структурами вычислительных систем по различным критериям функционирования, например производительности и надежности, при одинаковом числе вычислительных узлов и каналов связи, являются структуры с минимальным средним расстоянием между узлами (см., например, [4]). Поэтому обычные сети с простой структурой регулярных решеток окажутся недостаточно эффективными для решения более общего типа задач, не связанных с триангуляцией трехмерных объектов.

В связи с этим представляется перспективным использовать для построения коммуникативных сетей для компьютеров следующих поколений сети со свойствами «малого мира» [5], одним из важнейших свойств которых является малое среднее расстояние между узлами и малый диаметр сети. Более точное выражение свойства малой средней длины заключается в следующем: для регулярной D -мерной решетки среднее расстояние между узлами d растет как степень числа узлов: $d \sim N^{1/D}$, а для сети со свойствами «малого мира» существенно медленнее: $d \sim \ln N$.

В классическом варианте [5] сложные сети со свойствами «малого мира» получаются на промежуточной стадии процесса стохастической трансформации регулярных решеток в полностью случайные графы Эрдеша-Реньи (см., например, обзор [6] и ссылки в нем). При этом структура регулярной решетки нарушается, что, как отмечалось выше, нежелательно для коммуникационных сетей суперкомпьютеров. Поэтому в данной работе предлагается использовать ряд модификаций способа построения сетей с малой средней длиной пути между узлами, при которых сохраняется базовая решеточная структура, но к ней определенным образом добавляются дополнительные связи, называемые перемычками, которые и обеспечивают свойства «малого мира».

Длина пути (расстояние) между узлами понимается в сетевом смысле: как минимальное число ребер, по которым надо пройти, чтобы попасть из одного узла в другой. Соответственно среднее расстояние между несопадающими узлами определяется как среднее по всем парам узлов данной сети. Однако для больших сетей определенная таким образом длина пути между узлами может оказаться неадекватной характеристикой, поскольку для нахождения кратчайших маршрутов необходимо знать глобальную структуру сети. Соответственно маршрутизация сообщений, использующая кратчайшие пути, может оказаться слишком сложной и неэффективной, так как связана с хранением и обработкой большого объема информации. Поэтому особую важность приобретают алгоритмы маршрутизации, основанные на локальной навигации [7]. В краткой формулировке задача навигации в сетях ставится следующим образом: узел «знает» географическое положение (другими словами, положение в базовой решетке) всех узлов, а также своих ближайших сетевых соседей с учетом дополнительных перемычек;

необходимо доставить сообщение в узел назначения по возможно кратчайшему пути, не используя глобальной информации обо всех перемычках в сети. В простейшем варианте эту задачу решает так называемый жадный алгоритм (greedy algorithm): текущий узел пересылает сообщение тому из своих соседей, который географически (то есть в смысле координат на решетке) ближе всего к цели (узлу назначения). Таким образом, в данной работе наряду с глобальным средним расстоянием между узлами рассматривается и средняя навигационная длина пути между узлами сети как важная характеристика, определяющая коммуникационные свойства сети. При этом для некоторых рассмотренных сетей оказалось необходимым рассмотреть обобщение обычного жадного алгоритма, при котором учитывается положение не только ближайших соседей текущего узла, но и соседей соседей. Другими словами, сообщение на каждом шаге пересылается в тот соседний узел, один из соседей которого ближе всего к узлу назначения в смысле решеточной метрики. Хотя при таком алгоритме объем вычислений на каждом шаге маршрутизации несколько увеличивается, но алгоритм остается локальным (не вычисляется весь путь до адресата, и объем не зависит от размеров системы). Поэтому этот алгоритм является хорошо масштабируемым и приемлем для сверхбольших коммуникационных сетей.

Основной целью работы является разработка оптимального алгоритма (или алгоритмов) построения сети с большим числом узлов, но малой глобальной и/или навигационной средней длиной пути между узлами. Общая идея состоит в добавлении к решеточной основе дополнительных перемычек по специальному алгоритму (или алгоритмам), чтобы оптимизировать соотношение «цены» и «качества» для получаемой таким образом сети. В качестве «цены» выступает удельная длина дополнительных перемычек C/L (общая длина перемычек C в единицах базовой решетки, деленная на число узлов сети L), а «качество» – это глобальная d или навигационная l средняя длина пути между узлами. Очевидно, что эти две величины взаимосвязаны: увеличивая цену C/L можно улучшить качество (уменьшить d или l), и, наоборот, улучшение качества зачастую связано с увеличением цены. Существует ряд подходов и методов для решения задач такой многокритериальной оптимизации (см., например, [8]). В работе используется один из простейших и наглядных методов, а именно метод взвешенных сумм (в более общем контексте такой подход называется скаляризацией многокритериальной оптимизации). Для этого определены и оптимизированы (а именно, минимизированы) следующие скалярные целевые функции $G_w = w d + (1-w) C/L$ и $G_w^{nav} = w l + (1-w) C/L$. Минимизация этих целевых функций означает, что подобраны оптимальные значения параметров алгоритмов с точки зрения качества (малой длины пути между узлами) и цены (малой длины перемычек). При этом параметр $0 \leq w \leq 1$ характеризует относительную значимость каждого из критериев (качество и цена).

Рассмотрен ряд как известных в литературе [9–14], так и предложенных авторами алгоритмов построения сложных сетей со свойствами «малого мира». Как уже упоминалось, оригинальный алгоритм получения сложной сети со свойствами «малого мира» [5] является стохастическим: на каждом шаге алгоритма ребра графа меняют свое положение с некоторой вероятностью. В результате многократного применения такого алгоритма возникает ансамбль графов с некоторым распределением их характеристик, в частности с некоторым распределением средней длины пути между узлами экземпляра графа. Для многих реальных сетей стохастический процесс их формирования оказывается внутренне присущим (так, это справедливо для сети Интернет; другие примеры см., например, в [6]). Однако проектирование коммуникационной сети суперкомпьютера находится под контролем разработчика, и поэтому стохастичность не является внутренне присущим элементом этого процесса. Поэтому важным вопросом является следующий: существует ли такой регулярный (детерминистский) алгоритм модификации

решетки с помощью перемычек, превращающей ее в сеть «малого мира», чтобы соотношение «цена»–«качество» полученной сети было лучше, чем при использовании стохастических алгоритмов. Исследованию этого вопроса и посвящена, в основном, эта работа. Показано, что наиболее эффективной для построения сверхбольших коммуникационных сетей структурой обладают сети, построенные на основе предложенного в данной работе детерминистского алгоритма.

Работа частично финансируется РФФИ, грант 12-07-00408-а.

Литература

1. Shainer G., Sparks B., Graham R. Toward Exascale computing, HPC Advisory Council – [http://www.hpcadvisorycouncil.com/pdf/Toward_Exascale_computing.pdf].
2. Report on Institute for Advanced Architectures and Algorithms Interconnection Networks Workshop 2008, Future Technologies Group Technical Report Series, Oak Ridge, Tennessee USA – [<http://www.csm.ornl.gov/workshops/IAA-IC-Workshop-08>].
3. Dally W.J., Towles B.P. Principles and Practices of Interconnection Networks. – Amsterdam: Elsevier Science, 2003. 550 p.
4. Dally W.J. Performance Analysis of k-ary n-cube Interconnection Networks // IEEE Transactions on Computers. 39 (1990) 775.
5. Kleinrock L. Communication Nets: Stochastic Message Flow and Design. New York: McGraw-Hill, 1964. 220 p.
6. Watts D.J., Strogatz D.H. Collective dynamics of small-world networks // Nature. 393 (1998) 440.
7. Albert R., Barabasi A.-L. Statistical mechanics of complex networks // Rev. Mod. Phys. 74 (2002) 47.
8. Kleinberg J.M. Navigation in the small world // Nature. 406 (2000) 845.
9. Steuer, R.E. Multiple Criteria Optimization: Theory, Computations, and Application.- New York: John Wiley and Sons, 1986. 330 p.
10. Zou Zhi-Yun et al. Regular Small-World Network // Chin. Phys. Lett. 26 (2009) 110502.
11. Boettcher S., Goncalves B., Azaret J. Geometry and Dynamics for Hierarchical Regular Networks // Journal of Physics A 41 (2008) 335003.
12. Boettcher S., Goncalves B., Guclu H., Hierarchical Regular Small-World Networks // J. Phys. A. 41 (2008) 252001.
13. Comellas F., Ozona J., Peters J. G. Deterministic small-world communication networks // Information Processing Letters. 76 (2000) 83.
14. Comellas F., Mitjana M., Peters J.G. Broadcasting in Small-World Communication Networks // In: Proc. 9th Int. Coll. on Structural Information and Communication Complexity (2002), eds. C. Kaklamanis and L. Kirousis. P. 73–85.
15. Moukarzel C.F., de Menezes M.A. Shortest paths on systems with power-law distributed long-range connections // Phys. Rev. E. 65 (2002) 056709.
16. Sen P., Chakrabarti B. Small-world phenomena and the statistics of linear polymer // J. Phys. A. 34 (2001) 7749.
17. Barthelemy M. Spatial Networks // Phys. Reports. 499 (2011) 1.

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ

Агапова Т.А.	342	Горшков А.В.	106
Аксёнов С.В.	4	Гришагин В.А.	111
Андреев А.М.	236	Гурбатов С.Н.	116
Андрюшин Д.В.	388	Данилов И.Г.	117
Артамонов Ю.С.	82	Деменев А.Г.	122
Афраймович Л.Г.	8	Демин И.Ю.	116
Ахматнуров Д.В.	353	Демичев А.П.	125, 228
Ашарина И.В.	12	Дерябин М.А.	129
Балахонцева М.А.	464	Дикарев К.И.	8
Баранов Д.А.	18	Диков Д.А.	134
Баркалов К.А.	24, 29	Дикусар В.В.	139
Бартенев Ю.Г.	34	Дмитриев Н.А.	342
Бастраков С.И.	37	Добряев Д.Н.	111
Безгодов А.А.	464	Донченко Р.В.	37
Белозерова Т.С.	122	Дружков П.Н.	143
Беляков В.А.	43	Духанов А.В.	460, 464
Биллиг В.А.	48, 52, 247	Ефименко Е.С.	37
Биятдинова А.З.	464	Жирнова Т.А.	148
Богачева А.В.	460	Жунин А.Ю.	149
Болгова Е.В.	464	Зайцев А.А.	129
Болдырев Ю.Я.	455	Залялов Д.Г.	156
Болодурина И.П.	54	Замотин К.Ю.	455
Борисейко П.П.	61	Заручевская Г.В.	153
Бородулин К.В.	63	Захаров Р.К.	160
Бутымова Л.Н.	287	Зиновьев И.И.	96
Быков А.Н.	424	Золотых Н.Ю.	29
Быстриков Д.В.	66	Зорин Д.Ю.	164
Валиуллин А.Ф.	71	Зубко И.Ю.	225
Вильдеманов А.В.	75	Иванов С.В.	477
Волкович А.Н.	77	Иванченко М.В.	75, 164
Волченская Т.В.	194	Игрунов В.И.	342
Востокин С.В.	82	Идрисов Р.И.	168
Гавриленко В.В.	83	Ильин В.А.	125
Гаврилов Н.И.	87	Исмагилова А.С.	393
Галкин А.А.	83	Исупов К.С.	190
Гергель В.П.	416	Казанцев В.Б.	377
Гибадуллин Р.Ф.	91	Калачев А.В.	170
Голубев А.С.	96	Калюжная А.В.	477
Голубев В.И.	100	Карбовский В.А.	470
Гоносков А.А.	37	Карпов А.П.	34
Гордлеева С.Ю.	377	Карсаков А.С.	170
Городецкий С.Ю.	101	Катеров А.С.	176

Квасов Д.Е.	365	Новиков А.М.	292
Кириллин М.Ю.	106	Новокрещенов А.А.	295
Кириллов А.С.	180	Обшта А.Ф.	83
Кислицын Д.И.	185, 427	Овсюжно А.Ю.	170
Князьков В.С.	190, 194	Одякова Д.С.	300
Князьков К.В.	472	Оленёв Н.Н.	139, 305, 308
Ковальчук С.В.	472, 481	Осинин И.П.	194
Козинов Е.А.	205	Осокин Д.В.	450
Копысов С.П.	212, 217	Павлов Д.А.	313
Корзаков Ю.Н.	342	Панков С.В.	315
Коротченко А.Г.	210	Панкратова М.А.	397
Коршунова А.Л.	106	Парфёнов Д.В.	8
Костенецкий П.С.	223	Парфёнов Д.И.	54
Кочуров В.И.	225	Парфенова Л.В.	421
Крылов И.Б.	43	Пекунов В.В.	320
Крюков А.П.	125, 228	Перекатова В.В.	399
Крючков И.А.	34, 342	Перетрухин С.Ф.	8
Кузнецов К.В.	231	Петрик А.Н.	342
Кузьмин И.М.	212, 217	Петров Д.В.	231, 277
Кузьминский М.Б.	236	Петров И.Б.	100
Кулакович У.С.	335	Петухов Е.П.	455
Курсиков А.О.	238	Пищулин И.А.	34
Кустикова В.Д.	241	Подчукаев В.А.	270
Лайком Д.Н.	4	Поздняк Е.И.	370
Лапин А.В.	156	Полежаев П.Н.	325
Лаптева Т.В.	75	Половинкин А.Н.	29, 330
Лашманов В.Н.	342	Поляков С.П.	125
Лепшова Е.С.	247	Прилуцкий М.Х.	8, 335
Линева Т.Н.	252	Приходько Н.В.	228
Лобанов А.В.	12	Прокин И.С.	377
Логвин Ю.В.	342	Прокошев В.В.	440
Логинов А.В.	190	Прончатов-Рубцов Н.В.	116
Ломтев А.Г.	342	Пыстогов С.В.	91
Макаров А.А.	8	Радченко Г.И.	134, 430
Макарова Т.Д.	252	Решетников А.Н.	337
Малова А.Ю.	257	Румянцев А.С.	289
Малышев А.С.	37	Рыбаков М.А.	342
Мееров И.Б.	29, 37, 170	Рыбкин А.С.	148, 342
Миллокин Ю.А.	265, 270	Рычков В.Н.	217
Минязев Р.Ш.	274	Рябов В.В.	308
Миронов В.И.	377	Савельев А.Г.	343
Михелев В.М.	231, 277	Самохвалов С.В.	345
Модорский В.Я.	282, 287	Сапрыкин В.А.	347
Мухина И.В.	377	Сатанин А.М.	353
Назаров Ю.П.	82	Свиридов А.П.	356
Наместников Г.И.	8	Свистунов С.С.	360
Напыльникова Я.А.	170	Селякин А.Г.	342
Недожогин Н.С.	212	Семенов А.И.	223
Никитина Н.Н.	289	Семенов Г.П.	342
Новиков А.К.	212	Сергеев Я.Д.	365

Сидоренко К.В.	43	Ушаков А.Ю.	342
Сидоров И.А.	370	Ушаков Ю.А.	325
Сидоров С.В.	29, 372	Федоров А.А.	424
Сизов Е.А.	424	Федосеев Д.В.	353
Симонов А.Ю.	377	Филимонов А.В.	8
Смирнов П.А.	481	Халилов Л.М.	421
Смирнова А.И.	379	Харебов П.В.	122
Сморякова В.М.	210	Харитонов Д.И.	300
Соболев С.И.	383	Хеннер В.К.	122
Соколов А.А.	388	Хеннер Е.К.	122
Спивак С.И.	393	Хохлов Н.И.	100
Старостин Н.В.	8, 397	Хромых В.Е.	427
Стрюков В.Н.	342	Худякова Е.С.	430
Субочев П.В.	399	Чернецов А.М.	236
Суворов С.В.	270	Черноскутов М.А.	435
Супрун А.Н.	401	Чуров Т.Н.	486
Сурмин И.А.	37	Шамардин Л.В.	228
Тарасов В.Л.	406	Шамин П.Ю.	440
Тарасов Г.В.	300	Шамов Е.А.	445
Титов В.В.	411	Шатохин А.В.	342
Тонков Л.Е.	217	Швецов А.В.	450
Торопчин Д.А.	231	Шлыков С.Н.	342
Турлапов В.Е.	87, 416	Шувар Б.А.	83
Турчин И.В.	399	Шухман А.Е.	325
Устюгов И.И.	421	Ярулин Д.Р.	342

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Аксёнов С.В., Лайком Д.Н.</i> Кластеризация показателей энергетической активности звезд на базе алгоритмов Густафсона-Кесселя и DBSCAN с помощью суперкомпьютерного кластера.....	4
<i>Афраймович Л.Г., Дикарев К.И., Макаров А.А., Наместников Г.И., Парфёнов Д.В., Перетрухин С.Ф., Прилуцкий М.Х., Старостин Н.В., Филимонов А.В.</i> Программные средства для определения оптимальных режимов газотранспортной системы на стадии ее проектирования или модернизации с применением технологий многопоточного программирования	8
<i>Ашарина И.В., Лобанов А.В.</i> Метод разбиения многомашинной системы на комплексы при организации сбое- и отказоустойчивых параллельных вычислений	12
<i>Баранов Д.А.</i> Анализ применимости OpenCL-реализаций методов Гаусса, Холецкого и Зейделя для решения линейной задачи наименьших квадратов	18
<i>Баркалов К.А.</i> Использование значений производных в параллельных алгоритмах условной глобальной оптимизации	24
<i>Баркалов К.А., Мееров И.Б., Половинкин А.Н., Сидоров С.В., Золотых Н.Ю.</i> Оптимизация параметров SVM-регрессии с использованием алгоритма глобального поиска.....	29
<i>Бартнев Ю.Г., Карнов А.П., Крючков И.А., Пищулин И.А.</i> Адаптация некоторых решателей СЛАУ для арифметических ускорителей NVIDIA	34
<i>Бастраков С.И., Гоносков А.А., Донченко Р.В., Ефименко Е.С., Малышев А.С., Мееров И.Б., Сурмин И.А.</i> Анализ производительности и масштабируемости кода Picador для моделирования плазмы.....	37
<i>Беляков В.А., Сидоренко К.В., Крылов И.Б.</i> Использование графических ускорителей при моделировании релаксации массива кремниевых нанокристаллов по методу Монте-Карло	43
<i>Биллиг В.А.</i> Оценки времени в модели параллельного выполнения программ	48
<i>Биллиг В.А.</i> «Параллельные вычисления и многопоточное программирование» – учебный курс и учебное пособие	52
<i>Болодурина И.П., Парфёнов Д.И.</i> Моделирование распределения ресурсов и динамической балансировки нагрузки в системе дистанционного обучения	54
<i>Борисейко П.П.</i> Параллельные расчеты сложных задач механики сплошных сред на базе программно-вычислительного комплекса Star-ССМ+	61
<i>Бородулин К.В.</i> Разработка технологии хранения данных для параллельных СХД.....	63
<i>Быстриков Д.В.</i> Применение многосеточных методов для решения эллиптических задач с помощью пакета OpenFOAM	66
<i>Валиуллин А.Ф.</i> Использование генетических алгоритмов с критерием Джеффриса-Мацуситы для выбора оптимального набора входных каналов в задаче дешифрации наземных объектов по данным ДЗЗ	71
<i>Вильдеманов А.В., Иванченко М.В., Лантева Т.В.</i> Моделирование динамики взаимодействующих квантовых частиц в пространственно-неоднородных решетках	75
<i>Волкович А.Н.</i> Параллельная реализация многокритериального метода построения карт диспаратности.....	77
<i>Востокин С.В., Артамонов Ю.С., Назаров Ю.П.</i> Templet-сервис непрерывной интеграции для разработки высокопроизводительных приложений	82

<i>Гавриленко В.В., Обшта А.Ф., Шувар Б.А., Галкина А.А.</i> Приближенное решение нелинейных операторных уравнений с помощью итеративного агрегирования	83
<i>Гаврилов Н.И., Турлапов В.Е.</i> Качественная и высокопроизводительная медицинская визуализация методом volume ray casting	87
<i>Гибадуллин Р.Ф., Пыстогов С.В.</i> Параллельная система управления полнотелными защищенными базами данных картографических сцен	91
<i>Голубев А.С., Зиновьев И.И.</i> Детектирование лиц людей на изображении с использованием графических ускорителей	96
<i>Голубев В.И., Петров И.Б., Хохлов Н.И.</i> Разработка параллельного программного комплекса для оценки сейсмостойкости наземных сооружений путём прямого численного моделирования	100
<i>Городецкий С.Ю.</i> Обобщения метода Direct на задачи с функциональными ограничениями	101
<i>Гориков А.В., Кириллин М.Ю., Коршунова А.Л.</i> Компьютерное моделирование оптической диффузионной спектроскопии для функциональной диагностики мозга человека	106
<i>Гришагин В.А., Добряев Д.Н.</i> Использование параллельных алгоритмов глобального поиска с обобщённой квадратичной характеристикой для решения прикладных задач гидродинамики	111
<i>Гурбатов С.Н., Демин И.Ю., Прончатов-Рубцов Н.В.</i> Численное моделирование эволюции акустических волн в медико-биологических средах	116
<i>Данилов И.Г.</i> Об актуальности исследования и развития современных моделей распределенного и параллельного программирования	117
<i>Деменев А.Г., Хеннер Е.К., Белозерова Т.С., Хеннер В.К., Харебов П.В.</i> О решении задач магнитодинамики и когерентных процессов в наноманитных структурах на суперкомпьютере	122
<i>Демичев А.П., Ильин В.А., Крюков А.П., Поляков С.П.</i> Сравнительный анализ алгоритмов построения больших коммуникационных сетей со свойствами “малого мира”	125
<i>Дерябин М.А., Зайцев А.А.</i> Использование модулярной арифметики для ускорения выполнения операций над числами большой разрядности	129
<i>Диков Д.А., Радченко Г.И.</i> Интеграция сервиса интерактивной визуализации для распределенных виртуальных испытательных стендов с системой CAEBeans	134
<i>Дикусар В.В., Оленёв Н.Н.</i> Применение параллельных алгоритмов в решении краевой задачи на примере входа аппарата в атмосферу	139
<i>Дружков П.Н.</i> Программная реализация параллельного алгоритма градиентного бустинга деревьев решений	143
<i>Жирнова Т.А., Рыбкин А.С.</i> Способы векторизации вычислений для систем с арифметическими ускорителями	148
<i>Жунин А.Ю.</i> Вычислительная реализация обобщенного метода Direct для задачи с функциональными ограничениями	149
<i>Заручевская Г.В.</i> Реализация решения разностной схемы расщепления двумерного уравнения теплопроводности в клеточной машине	153
<i>Залялов Д.Г., Лапин А.В.</i> Численное решение задачи оптимального управления системой, описываемой линейным эллиптическим уравнением, при наличии нелокальных ограничений на состояние системы	156
<i>Захаров Р.К.</i> Распознавание изображений с применением модифицированного алгоритма, основанного на дескрипторе контекста формы	160
<i>Зорин Д.Ю., Иванченко М.В.</i> Моделирование динамики иммунного ответа в ансамблях Т-клеток с применением графических процессоров	164

Идрисов Р.И. Облачная среда функционального программирования для научных вычислений и образования	168
Калачев А.В., Карсаков А.С., Мееров И.Б., Напыльникова Я.А., Овсянко А.Ю. Разработка программного комплекса для анализа энергоэффективности программного обеспечения.....	170
Катеров А.С. Высокопроизводительные вычисления при исследовании сводимости трех- и четырехиндексных задач	176
Кириллов А.С. Анализ масштабируемости параллельных алгоритмов решения кооперативной игры	180
Кислицын Д.И. Автоматизированная система управления расчетом сложных строительных объектов на базе метода разделения объекта на проектные единицы	185
Князьков В.С., Исупов К.С., Логинов А.В. Организация позиционно-модулярных вычислений для высокоточных численных расчетов	190
Князьков В.С., Осинин И.П., Волченская Т.В. Организация арифметического разрядно-параллельного СБИС-процессора для массовых вычислений	194
Коваль Е.А., Коваль О.А. Алгоритм поиска совпадающих подстрок двух геномов и его распараллеливание	199
Козинов Е.А. Об одном подходе к представлению данных в системе «Визограф»	205
Коротченко А.Г., Сморякова В.М. Алгоритм поиска наибольшего значения в классе функций, определяемом кусочно-линейной мажорантой	210
Копысов С.П., Кузьмин И.М., Недождогин Н.С., Новиков А.К. Параллельный алгоритм формирования и решения дополнения Шура.....	212
Копысов С.П., Кузьмин И.М., Рычков В.Н., Тонков Л.Е. Параллельные алгоритмы и технологии решения сопряженных задач FSI	217
Костенецкий П.С., Семенов А.И. Исследование производительности вычислительных систем с многоядерными ускорителями в рамках приложений баз данных.....	223
Кочуров В.И., Зубко И.Ю. Применение графических ускорителей для определения зависимости потенциальной энергии и равновесного межатомного расстояния от температуры в ГЦК-металлах.....	225
Крюкова А.П., Шамардин Л.В., Приходько Н.В., Демичев А.П. Унифицированный удаленный доступ к суперкомпьютерным ресурсам	228
Кузнецов К.В., Михелев В.М., Торопчин Д.А., Петров Д.В. Суперкомпьютерные технологии в задаче поиска изображений по визуальному подобию	231
Кузьминский М.Б., Андреев А.М., Чернецов А.М. Применение GPU для задач квантовой химии: прямой расчет матриц плотности сверхбольших молекул методом PDM	236
Курсиков А.О. Проект практикума по курсу высокопроизводительных вычислений, основанный на CUDA.....	238
Кустикова В.Д. Об одном подходе к решению задачи видеодетектирования транспортных средств	241
Лепшова Е.С., Биллиг В.А. Реализация и распараллеливание алгоритма интеллектуального анализа данных, основанного на деревьях решений	247
Линева Т.Н., Макарова Т.Д. Разработка сайта и модуля проверки тестов системы WCTEST дистанционного тестирования задач по программированию.....	252
Малова А.Ю. Обзор методов переупорядочения симметричных разреженных матриц	257
Миллюкин Ю.А. Автоматизация построения вычислительного ядра для спецвычислителей на базе FPGA.....	265

Миллюкин Ю.А., Суворов С.В., Подчукаев В.А. Динамический хаос как бесконечный разрыв второго рода в координатах центра смещения	270
Минязев Р.Ш. Архитектура параллельной СУБД на платформе GPU-кластера	274
Михелев В.М., Петров Д.В. Применение высокопроизводительных вычислительных систем для поиска граничных контуров карьеров рудных месторождений	277
Модорский В.Я. Численное решение и экспериментальное исследование междисциплинарных задач	282
Модорский В.Я., Бутымова Л.Н. Разработка расчетно-экспериментального комплекса по исследованию аэроупругих колебаний в энергетических установках	287
Никитина Н.Н., Румянцев А.С. Задача оптимизации времени выполнения приложения в Desktop Grid	289
Новиков А.М. Облако данных для активного хранилища многомерных массивов	292
Новокрещенов А.А. Алгоритм поиска параллельности с синхронизациями во вложенностях циклов	295
Одякова Д.С., Тарасов Г.В., Харитонов Д.И. Система WBS как расширенный инструмент управления вычислительной средой	300
Оленёв Н.Н. Идентификация моделей экономики со структурными изменениями	305
Оленёв Н.Н., Рябов В.В. Глобальный поиск в задачах сверхвысокой размерности на примере идентификации математической модели экономики Нижегородской области	308
Павлов Д.А. Модуль исполнения запросов для базы данных, размещенной в памяти GPU	313
Панков С.В. Логико-математическое моделирование рекуррентных нейронных сетей	315
Пекунов В.В. Параллельное решение задачи классификации лиц методом голосования с нейросетевым арбитром	320
Полежаев П.Н., Ушаков Ю.А., Шухман А.Е. Планирование задач для облачных вычислительных центров обработки данных	325
Половинкин А.Н. Методы решения задачи классификации изображений с большим числом категорий	330
Прилуцкий М.Х., Кулакович У.С. Распределение ресурсов в сетевых структурах с активными элементами с использованием параллельной вычислительной среды ...	335
Решетников А.Н. Об одном из алгоритмов поиска объектов по биомедицинским данным	337
Рыбкин А.С., Агапова Т.А., Дмитриев Н.А., Игрунов В.И., Корзаков Ю.Н., Крючков И.А., Лапшинов В.Н., Логвин Ю.В., Ломтев А.Г., Петрик А.Н., Рыбаков М.А., Селякин А.Г., Семенов Г.П., Стрюков В.Н., Ушаков А.Ю., Шатохин А.В., Шлыков С.Н., Ярулин Д.Р. Компактные супер-ЭВМ производства ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». Итоги, инновации, перспективы	342
Савельев А.Г. Ассоциативное сокрытие данных с применением графических процессоров	343
Самохвалов С.В. Реализация технологий параллельного программирования в учебном процессе	345
Сапрыкин В.А. Архитектура телемедицинской системы с использованием гетерогенного вычислительного кластера в качестве серверной части	347
Сатанин А.М., Федосеев Д.В., Ахматнуров Д.В. Моделирование роста наноструктур методом молекулярной динамики с применением технологии CUDA	353
Свиридов А.П. Использование расширяемых языков для программирования многопоточных приложений	356

Свистунов С.С. Интерактивный рендеринг на GPU: вычисление функции видимости	360
Сергеев Я.Д., Квасов Д.Е. Вычисления высокой точности на компьютере нового типа.....	365
Сидоров И.А., Поздняк Е.И. Разработка методов и языковых средств сборочного программирования для распределенных вычислительных сред.....	370
Сидоров С.В. Исследование эффективности параллельного двухуровневого индексного алгоритма глобальной оптимизации	372
Симонов А.Ю., Миронов В.И., Прокин И.С., Гордлева С.Ю., И.В. Музхина, Казанцев В.Б. Сигнальные процессы в нейронных сетях мозга. Виртуальное моделирование для задач диагностики патологий и тестирования лекарств	377
Смирнова А.И. Применение параллельных вычислений в выделении целевых регионов на мультиспектральных космических снимках.....	379
Соболев С.И. Исследование эффективности распределенных расчетов в суперкомпьютерных средах.....	383
Соколов А.А., Андриюшин Д.В. Сравнительное тестирование вычислительных узлов двух суперкомпьютеров.....	388
Спивак С.И., Исмагилова А.С. Распараллеливание схем химических реакций при решении обратных задач.....	393
Старостин Н.В., Панкратова М.А. Отображение графа параллельной программы на граф вычислительной сети	397
Субочев П.В., Перекатова В.В., Турчин И.В. Вычислительные задачи и перспективы 3D-реконструкции в оптоакустике.....	399
Супрун А.Н. Метод массового распараллеливания вычислений при решении краевых задач математической физики	401
Тарасов В.Л. Обмен данными в параллельной программе расчета собственных частот оболочек вращения	406
Титов В.В. Объемная визуализация результатов газодинамического моделирования методом проецируемых тетраэдров с использованием технологии CUDA....	411
Турланов В.Е., Гергель В.П. Макет телемедицинской системы нового поколения.....	416
Устюгов И.И., Парфенова Л.В., Халилов Л.М. Квантовохимические вычисления с использованием программно-аппаратной архитектуры CUDA	421
Федоров А.А., Быков А.Н., Сизов Е.А. Метод распараллеливания прогонки на гибридных ЭВМ.....	424
Хромых В.Е., Кислицын Д.И. Укрупненная схема построения распределенных вычислений при расчетах сложных строительных конструкций методом разделения на проектные единицы	427
Худякова Е.С., Радченко Г.И. Веб-система разработки и внедрения распределенных виртуальных испытательных стендов.....	430
Черноскутов М.А. Анализ эффективности использования GPU в задаче поиска в ширину на графе	435
Шамин П.Ю., Прокошев В.В. Модернизация параллельного сетевого симулятора ПСС	440
Шамов Е.А. Подсистемы управления и контроля работоспособности решаемой задачи и аппаратуры гетерогенного вычислительного кластера	445
Швецов А.В., Осокин Д.В. Использование графических ускорителей при расчете оптических свойств полупроводниковых нанокристаллов в рамках теории функционала плотности	450
Болдырев Ю.Я., Замотин К.Ю., Петухов Е.П. Суперкомпьютеры и вопросы фундаментальных основ инженерного образования.....	455

Богачева А.В., Духанов А.В. Создание виртуальных лабораторных практикумов с применением облачных технологий второго поколения.....	460
Балахонцева М.А., Безгодов А.А., Билятинова А.З., Болгова Е.В., Духанов А.В. Инфраструктура стажировки и повышения квалификации молодых специалистов и учёных в области научной компьютерной графики и виртуальной реальности на базе многопрофильной инструментально-технологической платформы CLAVIRE.....	464
Карбовский В.А. Система активного мониторинга пакетов и ресурсов платформы облачных вычислений	470
Князьков К.В., Ковальчук С.В. Особенности разработки интерактивных композитных приложений	472
Калюжная А.В., Иванов С.В. Распределенная поддержка коллективного принятия решений в ситуационном центре для предотвращения наводнений	477
Смирнов П.А., Ковальчук С.В. Технология высокоуровневой разработки композитных приложений в рамках концепции виртуальных моделирующих объектов	481
Чуров Т.Н. Оценка времени выполнения прикладных пакетов в предметно-ориентированных средах облачных вычислений второго поколения	486
Алфавитный указатель авторов	488

Ф О Р У М
«СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ОБРАЗОВАНИИ, НАУКЕ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ»

ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ
ВЫЧИСЛЕНИЯ НА КЛАСТЕРНЫХ СИСТЕМАХ

Материалы XII Всероссийской конференции
(Нижний Новгород, 26–28 ноября 2012 г.)

Под ред. проф. В.П. Гергеля

Отв. за выпуск К.А. Баркалов

Формат 60×84 1/8. Уч.-изд. л. 47,6. Тир. 150 экз.
Издательство Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского.
603950, Н. Новгород, пр. Гагарина, 23.