

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАТЕМАТИКИ
И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ГЕОФИЗИКИ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИВМиМГ СО РАН)**

Просп. Академика Лаврентьева, 6, Новосибирск, 630090
Тел.: (383)330-83-53, факс (383)330-87-83, e-mail: director@ssec.ru
ОКПО 03533843, ОГРН 1025403656420, ИНН/КПП 5408100025/540801001

23.12.2019 № 15301/20-0109

На № _____ от _____

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Ежовой Надежды Александровны «Модель параллельных вычислений для оценки масштабируемости итерационных алгоритмов на кластерных вычислительных системах», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей.

Актуальность темы исследований.

Диссертационная работа Ежовой Надежды Александровны «Модель параллельных вычислений для оценки масштабируемости итерационных алгоритмов на кластерных вычислительных системах» посвящена организации параллельных вычислений на высокопроизводительных системах для решения ресурсоемких научных и технологических задач с гарантированной оценкой масштабируемости. Это направление исследований является и будет оставаться приоритетным в развитии современных суперкомпьютерных технологий.

Для достижения поставленной цели – новой модели параллельных вычислений для итерационных алгоритмов на многопроцессорных системах с распределенной памятью с гарантированной оценкой масштабируемости, соискатель формулирует и рассматривает четыре задачи:

1. Создание модели параллельных вычислений с гарантированной оценкой масштабируемости
2. Разработка программной реализации каркаса параллельной программы на языке C++, основанного на данной модели.
3. Реализация визуального конструктора программ на языке C++ на основе разработанного каркаса параллельной программы
4. Валидация созданной модели параллельных вычислений и верификация разработанного программного обеспечения на основе созданной модели.

Таким образом, Ежовой Надеждой Александровной построена модель параллельных вычислений для решения ресурсоемких научных и технологических задач с гарантированной оценкой масштабируемости.

Несомненна актуальность и практическая значимость диссертации, что подтверждается наличием разработанных программ для ЭВМ, которые используются в ряде российских научных и учебных организаций.

Научная новизна исследований и полученных результатов.

Основная научная новизна полученных в работе результатов состоит в следующем:

1. Разработана новая адекватная и простая в использовании модель параллельных вычислений для многопроцессорных систем с распределенной памятью.
2. Получена оценка границы масштабируемости для итерационных алгоритмов с высокой вычислительной сложностью на ранней стадии их проектирования.

Полученные в конечном итоге теоретические и практические результаты, а также разработанные программные средства дают специалистам в области математического моделирования инструмент для эффективной организации параллельных вычислений на многопроцессорных системах.

Все основные результаты, выносимые на защиту, получены впервые и представляют несомненный интерес для специалистов в области математического и программного обеспечения вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей.

Основное содержание работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Общий объем диссертации составляет 137 страниц, включая 36 рисунков, 6 таблиц и список литературы из 195 наименований.

Во введении отмечена актуальность темы исследований, сформулирована цель работы и полученные результаты, описана новизна и практическая ценность.

В первой главе проведен очень детальный аналитический обзор литературы по теме исследований, на основании которого в базис созданной в диссертации модели параллельных вычислений выбраны модель BSP (Bulk-Synchronous Parallelism) и формализм Берда-Миртенса (Bird-Meertens formalism).

Вторая глава посвящена описанию новой модели параллельных вычислений BSF (Bulk Synchronous Farm) – блочно-синхронной ферме, ориентированной на многопроцессорные системы с распределенной памятью. Такая модель предназначена для разработки итерационных численных алгоритмов с высокой вычислительной сложностью. Особенностью модели является представление алгоритма в виде операций над списками с использованием функций высшего порядка Map/Reduce. Такая формулировка модели параллельных вычислений позволяет сделать аналитическую оценку границы масштабируемости алгоритма на ранней стадии его разработки. Что и было сделано в диссертации. В выводах ко второй главе сформулировано самое главное заключение, что ни одна из известных моделей параллельных вычислений такой оценки получить не позволяет.

В третьей главе изложена структура программной реализации каркаса параллельной программы на языке C++, основанного на разработанной в диссертации модели BSF, и визуального конструктора программ с использованием этого каркаса.

Четвертая глава посвящена валидации созданной модели параллельных вычислений и верификации разработанного программного обеспечения на ее основе. Были выбраны три задачи: имитационное моделирование вычислительно сложного алгоритма, решение системы линейных алгебраических уравнений методом Якоби, решение задачи гравитационного взаимодействия многих тел. Экспериментально было показано соответствие оценки масштабируемости реальным значениям для всех задач.

В заключении сформулированы основные выводы и основные результаты диссертации, приведены рекомендации по использованию результатов диссертации и перспективы дальнейшей разработки темы.

Обоснованность и достоверность полученных результатов.

Диссертация Ежовой Надежды Александровны обладает смысловым единством, достоверность представленных в ней результатов основана на применении обоснованных технологий параллельного программирования и моделей

параллельных вычислений, верифицированных на специальном наборе задач, подтверждена экспериментальными данными, наличием публикаций и докладов по теме диссертации на различных специализированных конференциях и семинарах. Таким образом, работа носит законченный характер.

Научная и практическая ценность основных положений диссертации.

Сформулированные в диссертации научные положения и основные результаты представляются обоснованными. Так Надеждой Александровной Ежовой создана новая модель параллельных вычислений для многопроцессорных систем с распределенной памятью, получена гарантированная оценка границы масштабируемости для итерационных алгоритмов с высокой вычислительной сложностью на ранней стадии их проектирования, разработана программная реализации каркаса параллельной программы на языке C++ на основе созданной модели. Результаты диссертации важны как для практических приложений, связанных с организацией параллельных вычислений на высокопроизводительных системах для решения ресурсоемких научных и технологических задач с гарантированной оценкой масштабируемости, так и для дальнейшего развития и использования специалистами в области математического и программного обеспечения вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей

Публикации и соответствие паспорту специальности.

Основные результаты по теме диссертации в полном объеме изложены в 7 публикациях, в том числе 5 статей в журналах, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК, 2 публикаций в изданиях, зарегистрированных в системе Web of Science и Scopus. Результаты диссертации докладывались и обсуждались на 4 конференциях, а также на ведущих научных семинарах. Содержание диссертации соответствует специальности 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей.

Замечания по диссертационной работе.

Вместе с тем, диссертационная работа не свободна от недостатков. Основными недостатками диссертации являются:

1. В актуальности темы исследования сказано о доминировании кластерной архитектуры и далее новая модель параллельных вычислений ориентирована в основном на архитектуры с распределенной памятью. В то же время

эксафлопсные суперЭВМ, по всей видимости, будут содержать достаточно большое число ядер в одном узле и это число сопоставимо с числом узлов. В связи с этим не совсем понятно насколько построенная в диссертации модель параллельных вычислений позволяет проводить оценку масштабируемости алгоритмов для подобных архитектур.

2. Несомненным трендом современных процессоров является векторизация вычислений (например, технология AVX-512 в процессорах Intel). Особенностью векторизации является интенсивная работа со всеми уровнями памяти, когда на чтение 16 и записи 8 чисел двойной точности приходится только одна векторная инструкция. Насколько адекватно разработанная модель BSF может описать алгоритмы, активно использующие векторизацию вычислений?
3. В ИВМиМГ СО РАН разработаны технологии конструирования параллельных программ на основе фрагментированного программирования (Малышкин В.Э.) и имитационного моделирования поведения параллельных программ на основе мультиагентного подхода (Глинский Б.М., Родионов А.С.). Эти технологии позволяют конструировать программы и исследовать их поведение почти для всех известных на сегодня архитектур суперЭВМ и процессоров. Какие преимущества имеет разработанный в диссертации подход по сравнению с подходом, разработанным в ИВМиМГ СО РАН?
4. В алгоритме Gravitation-BSF, приведенном на рисунке 32 (страница 114), функция Map используется для вычисления гравитационной силы, действующей на частицы. В алгоритмах многих тел важной составляющей является шаг интегрирования по времени. Каким образом в рамках схемы вычислений Map/Reduce может быть учтена информация, например, о градиенте гравитационной силы, который может быть учтен для определения шага интегрирования?
5. В заключении на странице 122 помимо интеллектуального отладчика BSF-программ актуальным является разработка профилировщика BSF-программ для анализа эффективности выполнения программы.

Отдельно стоит отметить недостатки по изложению материала диссертации:

1. На странице 4 опечатка в слове «подхода».
2. На странице 8 после оборота «Таким образом» необходима запятая.
3. На страницах 9 и 10 в подразделе «Степень разработанности темы» используются сокращения RAM, BSP, HiCoHP и другие. Хотя они и расшифровываются далее в тексте диссертации, лучше было их описать во введении.

4. В названии подраздела 1.2 опечатка в слове «вычислений».
5. На странице 24 используется термин «Юзабилити», возможно, стоило заменить его на русскоязычный синоним.
6. На странице 41 вместо термина «реципиент» можно было использовать более простой синоним «получатель».
7. В некоторых местах запятые после формул переносятся на следующую строку, как, например, на странице 49.
8. На странице 57 две опечатки во фразе «большее либо равное единице».
9. На странице 74 понятие масштабируемости введено как ускорение (масштабируемость в сильном смысле). В текст диссертации стоило добавить определение масштабируемости в слабом смысле, когда измеряется время решения задачи при использовании различного числа узлов при одинаковом объеме вычислений на узел.
10. На страницах 95 и 96 при описании функций `BC_Master` и `BC_Worker` используются синхронные и асинхронные функции передачи сообщений. В тексте желательно было дать пояснения о необходимости использования тех и других видов передач.
11. На странице 97 опечатка в слове «сервером».

Отмеченные недостатки не снижают высокой оценки, которую заслуживает данная работа. Новая модель параллельных вычислений для итерационных алгоритмов на многопроцессорных системах с распределенной памятью с гарантированной оценкой масштабируемости и программная реализация каркаса параллельной программы на языке C++ на основе разработанной модели, несомненно, является крупным научным и технологическим достижением в области организации параллельных вычислений.

В автореферате обоснована актуальность исследования, его цели и задачи, научная новизна, практическая ценность и значимость научных результатов, выносимых на защиту. В целом автореферат полно и правильно отражает содержание диссертации.

Заключение о работе.

Считаю, что диссертация Ежовой Надежды Александровны «Модель параллельных вычислений для оценки масштабируемости итерационных алгоритмов на кластерных вычислительных системах» является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена задача получения аналитической оценки границы масштабируемости параллельных итерационных

численных алгоритмов для многопроцессорных систем с кластерной архитектурой, имеющей существенное значение в области разработки математического и программного обеспечения для высокопроизводительных вычислительных систем, и таким образом, соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, согласно п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней» с изменениями постановления Правительства Российской Федерации от 21 апреля 2016 г. № 335 «О внесении изменений в Положение о присуждении ученых степеней», а ее автор Ежова Надежда Александровна, безусловно, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей.

Официальный оппонент,
Старший научный сотрудник
лаборатории суперкомпьютерного моделирования
ИВМиМГ СО РАН,
д.ф.-м.н.



Куликов Игорь Михайлович

М.П.

«23» декабря 2019 года
e-mail: kulikov@ssd.sccc.ru
тел.: +7 (383) 330-96-65

Подпись Куликова Игоря Михайлович удостоверяю

Ученый секретарь
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института вычислительной математики и математической геофизики
Сибирского отделения Российской академии наук,
к.ф.-м.н.



Вшивкова Людмила Витальевна

М.П.

«23» декабря 2019 года

Сведения об официальном оппоненте:

Куликов Игорь Михайлович

Старший научный сотрудник

лаборатории суперкомпьютерного моделирования

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Института вычислительной математики и математической геофизики

Сибирского отделения Российской академии наук

Доктор физико-математических наук

05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы

и комплексы программ

630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 6

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт вычислительной математики и математической геофизики

Сибирского отделения Российской академии наук (ИВМиМГ СО РАН)

Тел.: +7 (383) 330-83-53

e-mail: director@sscc.ru

СВЕДЕНИЯ ОБ ОФИЦИАЛЬНОМ ОППОНЕНТЕ

диссертации Ежовой Н.А. «Модель параллельных вычислений для оценки масштабируемости итерационных алгоритмов на кластерных вычислительных системах» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.11 – математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей.

| | |
|--|--|
| Фамилия, имя, отчество | Куликов Игорь Михайлович |
| Ученая степень (с указанием номера и шифра специальности) | Доктор физико-математических наук, 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ |
| Ученое звание | Без звания |
| Организация основного места работы | ФГБУН «Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук» |
| Ведомственная принадлежность | Министерство науки и высшего образования Российской Федерации |
| Занимаемая должность | Старший научный сотрудник |
| Почтовый адрес | 630090, г. Новосибирск, проспект академика Лаврентьева, 6 |
| Телефон | +7 (383) 330-96-65 |
| Адрес электронной почты | kulikov@ssd.ssc.ru |

Список основных публикаций по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях

1. Kulikov I., Chernykh I., Tutukov A. A new hydrodynamic code with explicit vectorization instructions optimizations, dedicated to the numerical simulation of astrophysical gas flow. I. Numerical method, tests and model problems // The Astrophysical Journal Supplement Series. 2019. V. 243. Article Number 4. DOI 10.3847/1538-4365/ab2237
2. Kulikov I., Chernykh I., Karavaev D., Berendeev E., Protasov V. HydroBox3D: Parallel & Distributed Hydrodynamical Code for Numerical Simulation of Supernova Ia // Lecture Notes in Computer Science. 2019. V. 11657. P. 187-198. DOI 10.1007/978-3-030-25636-4_15
3. Kulikov I., Chernykh I., Vshivkov V., Prigarin V., Mironov V., Tutukov A. The Parallel Hydrodynamic Code for Astrophysical Flow with Stellar Equations of State // Communications in Computer and Information Science. 2019. T. 965. C. 414-426. DOI: 10.1007/978-3-030-05807-4_35
4. Kulikov I.M., Chernykh I.G., Glinskiy B.M., Protasov V.A. An Efficient Optimization of Hll Method for the Second Generation of Intel Xeon Phi Processor // Lobachevskii Journal of Mathematics. 2018. Vol. 39, I. 4. P. 543-551. DOI 10.1134/S1995080218040091

5. Kulikov I.M., Chernykh I.G., Tutukov A.V. A New Parallel Intel Xeon Phi Hydrodynamics Code for Massively Parallel Supercomputers // Lobachevskii Journal of Mathematics. 2018. Т. 39. № 9. С. 1207-1216.
DOI: 10.1134/S1995080218090135
6. Glinskiy B., Kulikov I., Chernykh I., Snytnikov A., Sapetina A., Weins D. The Integrated Approach to Solving Large-Size Physical Problems on Supercomputers // Communications in Computer and Information Science. 2017. Т. 793. С. 278-289. DOI: 10.1007/978-3-319-71255-0_22
7. Glinskiy B., Kulikov I., Chernykh I. Improving the Performance of an AstroPhi Code for Massively Parallel Supercomputers Using Roofline Analysis // Communications in Computer and Information Science. 2017. Т. 793. С. 400-406. DOI: 10.1007/978-3-319-71255-0_32
8. Glinsky B., Kulikov I., Chernykh I., Weins D., Snytnikov A., Nenashev V., Andreev A., Egunov V., Kharkov E. The Co-design of Astrophysical Code for Massively Parallel Supercomputers // Lecture Notes in Computer Science (см. в книгах). 2016. Т. 10049 LNCS. С. 342-353. DOI: 10.1007/978-3-319-49956-7_27
9. Глинский Б.М., Куликов И.М., Снытников А.В., Черных И.Г., Винс Д.В. Многоуровневый подход к разработке алгоритмического и программного обеспечения экзафлопсных суперЭВМ // Вычислительные методы и программирование: новые вычислительные технологии. 2015. Т. 16. № 4. С. 543-556. DOI: 10.26089/NumMet.v16r451
10. Titarenko S.S., Kulikov I.M., Chernykh I.G., Shishlenin M.A., Krivorot'Ko O.I., Voronov D.A., Hildyard M. Multilevel parallelization: Grid methods for solving direct and inverse problems // Communications in Computer and Information Science. 2016. V. 687. P. 118-131. DOI 10.1007/978-3-319-55669-7_10



Куликов Игорь Михайлович

«23» декабря 2019 года

Подпись Куликова Игоря Михайловича удостоверяю

Ученый секретарь

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института вычислительной математики и математической геофизики
Сибирского отделения Российской академии наук,
к.ф.-м.н.



Вшивкова Людмила Витальевна

«23» декабря 2019 года