

УТВЕРЖДАЮ

Проректор федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Московский

государственный университет имени
М.В.Ломоносова», д.ф.-м.н.

А.А.Федянин

«16» января 2020 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Московский государственный университет имени
М.В.Ломоносова», 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.

В последнее время всё более широкое распространение во всём мире получают суперкомпьютеры, а элементы параллелизма постепенно проникают во все типы вычислительных устройств вплоть до мобильных. Поэтому задача создания модели параллельных вычислений, позволяющей оценивать масштабируемость итерационных алгоритмов на кластерных вычислительных системах, становится всё более актуальной. Этот класс алгоритмов применяется во многих реальных областях науки и промышленности, что определяет значимость разработки модели именно для такого подмножества. С другой стороны, ресурс параллелизма данного множества алгоритмов обычно достаточно высок, что определяет применимость разработанной модели для вычислительных систем максимального уровня производительности.

Содержание работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и библиографии.

Во **введении** обосновывается актуальность темы и степень ее разработанности; формулируются цели и задачи исследования; описываются степень научной новизны, теоретическая и практическая значимость работы; формулируются методология методы исследования; представлены результаты, выносимые на защиту диссертации.

Первая глава диссертации посвящена определению понятия модели параллельных вычислений, в ней дается классификация различных моделей и формулируются требования к модели параллельных вычислений. Далее дан обзор известных моделей параллельных вычислений и параллельных каркасов. После этого описан формализм Бёрда-Миртенса, который является теоретическим базисом для построения параллельных каркасов.

Во **второй главе** описывается модель параллельных вычислений BSF (Bulk Synchronous Farm) – блочно-синхронная ферма, ориентированная на многопроцессорные системы с кластерной архитектурой и предназначенная для разработки итерационных численных алгоритмов с высокой вычислительной сложностью. Приводятся базисные концепции, лежащие в основе модели BSF. Далее описываются BSF-компьютер и BSF-алгоритм. Вводится стоимостная метрика модели BSF, на основе которой получена аналитическая формула для оценки ускорения BSF-алгоритма.

Третья глава диссертации посвящена программной поддержке модели BFS. Описываются структура параллельного BSF-каркаса и визуальный конструктор BSF-программ. BSF-каркас содержит реализацию всех проблемно-независимых функций, организующих параллельное выполнение программы с использованием библиотек MPI и OpenMP. Он также содержит определения (заголовки) проблемно-зависимых функций, реализуемых пользователем. Веб-приложение BSF-Studio представляет собой визуальный конструктор BSF-программ. BSF-Studio обеспечивает поэтапное заполнение проблемно-зависимых частей программного кода, компиляцию и запуск приложения в облачной среде.

В **четвёртой главе** выполняется верификация модели параллельных вычислений BSF. Сначала выполняется имитационное моделирование BSF

алгоритма. Численные эксперименты проводились на суперкомпьютере «Торнадо ЮУрГУ», результаты верификации показывают, что стоимостная метрика модели BSF достаточно хорошо предсказывает экспериментальные результаты, полученные с помощью эмулятора BSF-программ.

В качестве второго способ верификации модели BSF представлена разработка и реализация BSF-алгоритма на основе итерационного метода Якоби для решения СЛАУ. Границы масштабируемости алгоритма Jacobi BSF, полученные аналитически, оказались очень близки к границам масштабируемости, полученным в результате вычислительных экспериментов.

Третий способ верификации модели BSF выполнялся с помощью гравитационной задачи, моделирующей движение тела малой массы среди n неподвижных тел большой массы. Границы масштабируемости алгоритма Gravitation-BSF, полученные аналитически, оказались очень близки к границам масштабируемости, полученным в результате экспериментов.

В заключении в краткой форме излагаются результаты данного диссертационного исследования. Далее приводятся отличия данной работы от ранее выполненных родственных работ других авторов, даются рекомендации по использованию полученных результатов и намечается направление дальнейших исследований.

Обоснованность и достоверность результатов диссертации.

Достоверность результатов определяется корректностью приводимых математических построений и подтверждается результатами проведённых экспериментов. Утверждение, связанное с оценкой границы масштабируемости алгоритма, сформулировано в виде теоремы, снабженной строгим доказательством. Теоретические построения подтверждены имитационным моделированием на кластерной вычислительной системе. Верификация модели BSF и соответствующего параллельного каркаса была выполнена на известных итерационных численных алгоритмах из различных областей вычислительной математики и физики.

Научная новизна.

Научная новизна работы определяется разработкой адекватной и простой в использовании модели параллельных вычислений для многопроцессорных систем с распределенной памятью, позволяющая предсказать границу масштабируемости для итерационных вычислительно сложных алгоритмов на ранней стадии их проектирования. Автору впервые удалось получить формулу, позволяющую аналитически оценить границу масштабируемости параллельного алгоритма.

Соответствие содержания диссертации специальности 05.13.11.

Содержание и результаты работы соответствуют паспорту специальности 05.13.11 «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей» по следующим областям исследований: «Модели, методы и алгоритмы проектирования и анализа программ и программных систем, их эквивалентных преобразований, верификации и тестирования» и «Модели и методы создания программ и программных систем для параллельной и распределенной обработки данных, языки и инструментальные средства параллельного программирования».

Теоретическая ценность.

Теоретическая ценность диссертации состоит в определении стоимостной метрики модели BSF, позволяющую аналитически оценить границу масштабируемости вычислительно сложного итерационного алгоритма, ориентированного на высокопроизводительные вычислительные системы.

Практическая ценность.

Практическую ценность работы определяют разработанные параллельный BSF-каркас и визуальный конструктор BSF Studio, которые могут применяться для быстрого создания и отладки эффективных параллельных BSF программ для кластерных вычислительных систем.

Рекомендации по использованию результатов диссертации.

Результаты диссертации могут быть использованы при разработке параллельных программ, реализующих итерационные вычислительно сложные алгоритмы алгоритмов на кластерных вычислительных системах.

Оформление текстов диссертации и автореферата.

Оформление диссертации соответствует требованиям, установленным Минобрнауки России. Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации и позволяет составить достаточно полное представление о ней. Список литературы достаточно представителен по рассматриваемой в диссертации теме.

Апробации и публикации результатов диссертации.

Результаты диссертационной работы прошли апробацию на ряде международных и всероссийских научных конференций и семинаров. Результаты диссертации опубликованы в 7 печатных работах, из которых 5 – в журналах, рекомендованных ВАК, 2 – в изданиях, индексируемых в Scopus. Таким образом, количество публикаций в рецензируемых научных изданиях соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней.

Замечания по диссертационной работе.

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

1. Ряд небольших замечаний связан с использованием терминологии. Так в работе многократно используется термин «кластер» (или «кластерный»), но определения этого понятия не даётся. Неоднократно в диссертации технология OpenMP обозначена как «библиотека». Но бóльшая функциональности часть OpenMP реализуется как спецкомментарии или указания компилятору, и только ряд возможностей – в виде библиотечных функций.

2. Утверждение на стр. 21 диссертации «в настоящее время многопроцессорные системы класса NUMA практически исчезли с рынка» представляется неверным или неудачно сформулированным.

3. В диссертации не сделано попытки строго определить класс итерационных численных алгоритмов с высокой вычислительной сложностью. Это приводит к размытию границ применимости предлагаемого подхода.

4. Сомнительной и сильно упрощённой представляется концепция масштабируемости, используемая в данной работе. Так, на стр. 74 диссертации сказано «основной величиной для определения уровня масштабируемости алгоритма является ускорение». Понятие ускорения не применимо к алгоритму, а только к его реализации (в модели или на конкретном компьютере). Кроме того, подмена понятия масштабируемости понятием ускорения оставляет вне рассмотрения понятия масштабируемости вширь (wide scaling) и слабой масштабируемости (weak scaling). Рассматриваемое в работе понятие сопоставимо с понятием сильной масштабируемости (strong scaling), которое используется часто, но довольно слабо применимо при использовании систем сверхвысокого уровня производительности. Кроме того, само наличие ускорения далеко не всегда говорит о хорошей масштабируемости – если за счёт значительного увеличения ресурсов удаётся получить небольшое ускорение, это скорее признак плохой, а не хорошей масштабируемости.

5. В разделе 4 оценка близости теоретических и экспериментальных результатов производится визуально по графикам, поэтому выводы «стоимостная метрика модели BSF достаточно хорошо предсказывает экспериментальные результаты, полученные с помощью эмулятора BSF-программ» (4.1) «аналитические оценки оказались очень близки к экспериментальным» (4.2) и (4.3) не представляются вполне очевидными и обоснованными.

Указанные недостатки не влияют на общую положительную оценку работы.

Заключение о работе.

В целом диссертация Ежовой Надежды Александровны «Модель параллельных вычислений для оценки масштабируемости итерационных алгоритмов на кластерных вычислительных системах» 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.

Ведущий научный сотрудник
НИВЦ МГУ имени М.В.Ломоносова,
к.ф.-м.н.



Александр Сергеевич Антонов

«15» января 2020 года
e-mail: asa@parallel.ru
тел.: +7 (495) 939-2347

Подпись Антонова А.С. удостоверяю

Директор
НИВЦ МГУ имени М.В.Ломоносова,
член-корреспондент РАН,
профессор, д.ф.-м.н.



В.В.Воеводин

«15» января 2020 года

Наименование организации, предоставившей отзыв: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»

Почтовый адрес: Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1
Телефон: +7 (495) 939-10-00
E-mail: info@rector.msu.ru
Web: <https://www.msu.ru>

СВЕДЕНИЯ О ЛИЦАХ, УТВЕРДИВШИХ И ПОДГОТОВИВШИХ ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

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

Наименование организации	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», ФГБОУ ВО «МГУ им. М.В.Ломоносова»	
Ведомственная принадлежность	Правительство Российской Федерации	
Почтовый адрес, телефон, адрес электронной почты, адрес официального сайта в сети «Интернет».	119991, Москва, Ленинские горы, д. 1. +7 (495) 939-10-00 info@rector.msu.ru https://www.msu.ru	
Сведения о лице, утвердившем отзыв	ФИО	Федянин Андрей Анатольевич
	Ученая степень (с указанием шифра специальности)	д.ф.-м. н., 01.04.04
	Должность	Проректор ФГБОУ ВО «МГУ имени М.В.Ломоносова»
Сведения о лице, подготовившем отзыв	ФИО	Антонов Александр Сергеевич
	Ученая степень (с указанием шифра специальности)	к.ф.-м. н., 05.13.11
	Должность	Ведущий научный сотрудник НИВЦ МГУ имени М.В.Ломоносова

**Список основных работ сотрудников ведущей организации
по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях**

1. Катаев Н.А., Буланов А.А. Автоматизированное преобразование фортран-программ, необходимое для их эффективного распараллеливания с помощью системы САПФОР // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Вычислительная математика и информатика. 2015. Т. 4. № 3. С. 13-23.
DOI: 10.14529/cmse150302
2. Воеводин В.В. Открытая энциклопедия свойств алгоритмов ALGOWIKI: от мобильных платформ до экзафлопсных суперкомпьютерных систем // Вычислительные методы и программирование: новые вычислительные технологии. 2015. Т. 16. № 1. С. 99-111. DOI: 10.26089/NumMet.v16r111
3. Suplatov D., Švedas V., Popova N., Voevodin V., Zhumatiy S. Parallel Workflow Manager for Non-Parallel Bioinformatic Applications to Solve Large-Scale Biological Problems on a Supercomputer // Journal of Bioinformatics and Computational Biology. 2016. Т. 14. № 2. С. 1641008. DOI: 10.1142/S0219720016410080
4. Nikitenko D.A., Voevodin V.I., Teplov A.M., Zhumatiy S.A., Voevodin V.V., Stefanov K.S., Shvets P.A. Supercomputer Application Integral Characteristics Analysis for the Whole Queued Job Collection of Large-Scale HPC Systems // PCT 2016 Parallel Computing Technologies Proceedings of the 10th Annual International Scientific Conference on Parallel Computing Technologies. 2016. С. 20-30. DOI: 10.14529/cmse160403
5. Voevodin V.I., Shegay M.V., Popova N.N., Suplatov D.A., Švedas V.K. Use of Parallel Computing in Effective Protein Multiple Structure Alignment // Proceedings of the 10th Annual International Scientific Conference on Parallel Computing Technologies, PCT 2016. Arkhangelsk, Russia, March 29-31, 2016. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-1576/148.pdf>
6. Воеводин В.В. Параллелизм в сложных программных комплексах (почему сложно создавать эффективные прикладные пакеты) // Чебышевский сборник. 2017. Т. 18. № 3 (63). С. 188-201.
DOI: 10.22405/2226-8383-2017-18-3-188-201
7. Voevodin V. Efficiency of Exascale Supercomputer Centers and Supercomputing Education // Communications in Computer and Information Science. 2016. Т. 595. С. 14-23. DOI: 10.1007/978-3-319-32243-8_2
8. Antonov A.S., Frolov A.V., Kobayashi H., Konshin I.N., Teplov A.M., Voevodin V.I., Voevodin V.V. Parallel Processing Model for Cholesky Decomposition Algorithm in AlgoWiki Project // Supercomputing Frontiers and Innovations. 2016. Т. 3. № 3. С. 61-70.
DOI: 10.14529/jsfi160307

9. Воеводин Вл.В., Жуматий С.А., Мамаева А.А., Шайхисламов Д.И., Швец П.А. Комплексный анализ эффективности использования суперкомпьютерных ресурсов на основе данных системного мониторинга // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики сборник трудов Международной научно-технической конференции. Воронежский государственный университет. 2017. С. 15-23.
URL: elibrary.ru/download/elibrary_32578010_32391183.pdf
10. Казьмина К.П., Антонов А.С. Разработка методов прогнозирования масштабируемости приложений на конфигурации суперкомпьютеров // Суперкомпьютерные дни в России Труды международной конференции. Суперкомпьютерный консорциум университетов России, Российская академия наук. 2018. С. 858-869.
URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_36548938_21917092.pdf

«16» ^{января} ~~декабря~~ 2020 г.

Данные верны:

Проректор
МГУ имени М.В.Ломоносова
д.ф.-м. н.



А.А. Федянин

 - /Воеводин/