

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Баранова Антона Викторовича

«Методы и средства управления вычислительными ресурсами в суперкомпьютерных системах коллективного пользования»,
представленную на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальности 2.3.5 – Математическое и программное обеспечение
вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей.

1. Актуальность темы исследований

В суперкомпьютерных центрах коллективного пользования расчетные задачи распределяются по вычислительным ядрам, а внутри ядра распараллеливаются выполняемые процессом отдельные вычислительные операции. Таким образом, распараллеливание входного потока заданий осуществляется одновременно на нескольких иерархических уровнях, соответствующих этапам единой технологической цепочки обработки. Каждый этап обработки входного потока заданий требует поиска и внедрения новых научно обоснованных архитектурных, технических и технологических решений по повышению эффективности использования суперкомпьютерных систем.

Общая эффективность использования суперкомпьютерных систем очевидным образом зависит от эффективности управления вычислительными ресурсами на каждом технологическом уровне распараллеливания входного потока заданий. Постоянное усложнение архитектуры суперкомпьютеров, применение для их построения новейших технических решений, увеличение числа процессорных узлов и ядер, повышение степени их разнородности обуславливают актуальность развития существующих и создания новых методов и средств управления вычислительными ресурсами суперкомпьютерных систем коллективного пользования на разных уровнях распараллеливания входного потока заданий.

При этом важно не только достигнуть эффективного распределения вычислительной работы по имеющимся ресурсам, но и обеспечить надежность и отказоустойчивость параллельных вычислений, поскольку рост степени распараллеливания ведет к соответствующему росту числа сбоев и отказов.

Необходимость сохранения компетенций и научно-технологического паритета в области управления суперкомпьютерными ресурсами обуславливает актуальность исследований и разработок по созданию и развитию отечественных систем управления заданиями, обладающих набором функциональных возможностей, соответствующим сложившейся мировой практике.

Разнообразие решаемых вычислительных задач, расширение применения облачных вычислений и связанных с ними технологий виртуализации и контейнеризации приводит к появлению разнородных потоков заданий на

входе суперкомпьютерной системы, что обуславливает актуальность исследований и разработок методов и средств повышения качества планирования заданий путем эффективного совмещения разнородных потоков заданий и поиска баланса между противоречивыми показателями качества.

Не менее важной функцией системы управления является распределение процессов расчетной программы по вычислительным узлам суперкомпьютера, осуществляемое для каждого задания. Эта задача в общем случае является NP-полной, ее сложность многократно возрастает в связи с непрерывным ростом числа процессорных ядер и вычислительных узлов в суперкомпьютерных системах, что обуславливает актуальность исследований и разработок методов и алгоритмов решения задачи поиска оптимального отображения средствами системы управления заданиями за приемлемое время.

Автоматизация распараллеливания по данным сопряжена с высокими накладными расходами, обуславливаемыми главным образом необходимостью учета обработанных порций данных. Исследование и разработка методов и средств, обеспечивающих распараллеливание по данным с меньшими по сравнению с известными решениями накладными расходами, также является актуальной научной задачей.

2. Цели работы, методы

В работе четко определены цели, объект и предмет исследования.

Цель диссертационной работы состоит в повышении эффективности использования суперкомпьютерных систем коллективного пользования за счет разработки комплекса архитектурных, технических и технологических решений для управления вычислительными ресурсами. Объектом исследования является многопроцессорная вычислительная система, а предметом – система управления пользовательскими заданиями на разных уровнях распараллеливания.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- разработка иерархической модели управления вычислительными ресурсами в суперкомпьютерной системе коллективного пользования,
- построение архитектуры и создание системы управления заданиями, обладающей качественными и количественными характеристиками на уровне мировых систем-лидеров;
- разработка методов и средств планирования заданий, обеспечивающих распределение по вычислительным ресурсам суперкомпьютера разнородных потоков пользовательских заданий различных классов;
- разработка решений по повышению быстродействия прикладных программ за счет оптимизации их отображения на структуру вычислительных узлов суперкомпьютера;
- разработка методов и технических решений организации параллельных вычислений с распараллеливанием по данным.

Результаты диссертации были получены с привлечением моделей и методов, используемых при поиске архитектурных и системных решений. Математическую основу исследования составляют методы теории алгоритмов, математической логики, теории графов.

3. Научная новизна исследований и полученных результатов

Автор всесторонне и глубоко проанализировал вопросы исполнения параллельной программы на многопроцессорной вычислительной системе и жизненный цикл пользовательского задания. Проведенный анализ позволил автору разработать и протестировать ряд методик управления заданиями и подходов к оптимальному использованию вычислительных ресурсов.

Автор диссертации получил следующие новые научные результаты:

- 1) Разработаны новые методы планирования, совмещающие обработку классов ординарных, отладочных, фоновых и адаптивных заданий, в том числе представленных в виде виртуальных машин и контейнеров;
- 2) Разработан новый двухэтапный метод отображения параллельной программы на вычислительные узлы суперкомпьютера: на первом этапе производится выделение вычислительных узлов для параллельной программы и тем самым сокращается размер задачи отображения, на втором этапе выделенные узлы используются для выполнения параллельного алгоритма поиска отображения;
- 3) Разработан новый эвристический алгоритм выделения вычислительных узлов для задания, основанный на разрезании графа свободных вычислительных узлов на два минимально связанных друг с другом подграфа при помощи имитации отжига;
- 4) Разработан новый параллельный алгоритм поиска отображения программного графа на граф вычислительных узлов с использованием циклической смены фаз имитации отжига и генетического отбора;
- 5) Разработан новый метод иерархического деления данных для организации параллельных вычислений с распараллеливанием по данным, за счет разделения входного пула данных на наборы упорядоченных элементарных вычислительных работ обеспечивающий компактное представление состояния вычислений и низкие накладные расходы на распараллеливание;
- 6) Разработана новая архитектура системы управления заданиями пользователей, основанная на иерархической модели управления вычислительными ресурсами суперкомпьютерной системы коллективного пользования.

Считаю, что все полученные автором результаты важны с теоретической и практической точек зрения, обладают новизной, при этом она хорошо обоснована, апробирована в публикациях и выступлениях на конференциях, и все результаты признаны научным сообществом.

4. Достоверность и обоснованность полученных результатов

Теоретическая значимость работы заключается в разработке математических методов увеличения эффективности использования вычислительных ресурсов суперкомпьютера.

Достоверность полученных результатов подтверждается реализацией разработанных решений в составе системы управления прохождением параллельных заданий и положительным опытом ее практического применения для управления вычислительными ресурсами отечественных суперкомпьютерных систем MBC-1000, MBC1000/16, MBC-1000/32, MBC-1000M, MBC-15000BM, MBC-6000IM, MBC-100K, MBC-10П, MBC-Экспресс, К-100, К-60.

Эффективность предложенных автором методов и средств подтверждается данными статистики использования указанных высокопроизводительных систем, результатами сравнительных вычислительных экспериментов и имитационного моделирования.

Основные результаты диссертационного исследования докладывались на многих представительных конференциях, симпозиумах и семинарах.

5. Личный вклад диссертанта.

В основных публикациях по теме диссертации автору принадлежат:

- архитектурные и технические решения по построению и развитию системы управления прохождением параллельных заданий,
- методика проведения сравнительного анализа с ведущими системами управления заданиями,
- двухэтапный метод и эвристические параллельные алгоритмы поиска отображения программного графа на граф вычислительных узлов суперкомпьютера, а также методика проведения вычислительных экспериментов по исследованию характеристик, предложенных метода и алгоритмов отображения,
- двухуровневая архитектура управления вычислительными ресурсами в территориально распределенной сети суперкомпьютерных центров как составная часть иерархической модели управления вычислительными ресурсами суперкомпьютерных систем коллективного пользования,
- метод иерархического деления данных в системах распараллеливания по данным и методика экспериментального сравнения программных комплексов распараллеливания по данным,
- методы представления заданий в виде виртуальных машин и контейнеров, а также методы совмещения потоков стандартных заданий и заданий, представленных в виде виртуальных машин и контейнеров,
- метод пост-планирования адаптивных заданий и методика имитационного моделирования для исследования характеристик этого метода,
- постановка научной задачи прогнозирования времени выполнения заданий.

6. Практическая ценность основных положений диссертации

Практическая значимость диссертации определяется тем, что разработанный и реализованный комплекс решений по управлению вычислительными ресурсами суперкомпьютерных систем коллективного пользования в течение десятилетий обеспечивает проведение высокопроизводительных расчетов в суперкомпьютерных центрах коллективного пользования МСЦ РАН – НИЦ «Курчатовский институт», ИПМ им. М.В. Келдыша РАН для пользователей-исследователей из 135 научных и образовательных организаций.

Разработанные эвристические алгоритмы разрезания графа свободных узлов и поиска отображения программного графа на граф вычислительных узлов суперкомпьютера вносят вклад в решение фундаментальной квадратичной задачи о назначениях.

Теоретические положения и накопленный практический опыт, представленные в диссертации, могут служить основой дальнейшего развития методов и средств построения систем управления вычислительными ресурсами и организации параллельных вычислений в суперкомпьютерных центрах.

Основные результаты, выводы и рекомендации, изложенные в диссертации, получены и использовались при реализации следующих проектов:

- программ фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2008-2012 годы, на 2013-2020 годы и на 2021-2030 годы;
- программ фундаментальных исследований Президиума и Отделения математических наук РАН;
- проектов Российского фонда фундаментальных исследований.

7. Рекомендации по возможности использования результатов и выводов диссертации

Автор отмечает, что десятилетия успешной эксплуатации разработанной системы управления прохождением параллельных заданий (СУППЗ) позволяют говорить о сформировавшейся на её основе цифровой экосистемы, ею воспользовались более 1240 пользователей-исследователей из 135 организаций, выполнивших свыше 3,7 млн. заданий при реализации более чем 530 научных проектов. Объем и характеристики предоставляемых под управлением СУППЗ услуг по высокопроизводительным вычислениям позволяют говорить о формировании на основе СУППЗ цифровой экосистемы в виде информационно-вычислительной среды суперкомпьютерного центра коллективного пользования, доступной практически для всех российских ученых.

Поэтому, в силу практической важности результатов работы, целесообразно на их основе предложить стандартную отечественную систему управления заданиями и опубликовать ее (например в системе GitHub или ее

аналоге) для свободного использования в рамках соответствующей лицензии. Такая инициатива будет способствовать широкому распространению авторской разработки, сбору обратной связи от пользователей, устранению возможных недостатков, улучшению ее работоспособности.

8. Замечания и вопросы по диссертационной работе

1. В главе 1 в пункте 1.2 определяются этапы жизненного цикла задания. Предусмотрен ли в жизненном цикле пользовательского задания возможный этап приостановки задания самим пользователем с сохранением промежуточных данных расчетов и его перезапуском, а также с возможностью многократного повторения такой процедуры?

2. В главе 1 в пункте 1.6 определяется иерархическая модель управления вычислительными ресурсами суперкомпьютерной системы. В частности, на странице 51 описывается пятый уровень иерархии, который представлен средствами, обеспечивающими доступ пользователей и администраторов к ресурсам системы. При этом, однако, не определяются задачи информационной безопасности, в частности задачи защиты от несанкционированного доступа, защиты данных и т.д. На наш взгляд, эти задачи должны ставиться именно на пятом уровне иерархии. Отсутствие задачи информационной безопасности в иерархии управления, на наш взгляд, является недостатком предлагаемого подхода. Как автор предполагает решать задачи информационной безопасности?

3. В пункте 3.5.1 дается описание системы управления заданиями в составе облачной платформы. Очевидно, облачная платформа может содержать ненадежные узлы, ненадежные каналы связи и т.д. Каким образом система управления заданиями отслеживает надежность вычислений на распределенных ресурсах, дает ли гарантии выполнения задания?

4. В пункте 4.4.3 при исследовании эффективности алгоритмов отображения параллельной программы на вычислительные узлы суперкомпьютера использовались готовые наборы графов. Может ли автор дать пояснения, какие классы параллельных алгоритмов соответствуют этим графам?

5. С целью оценки эффективности технологий распараллеливания по данным, используемых в разработанных автором программных комплексах, применялась следующая методика (с. 237): «Сравнение технологий распараллеливания по данным производилось по показателям производительности и отказоустойчивости. Для оценки производительности определялось время, затраченное на обработку всех входных параметров». Ясно, что для параллельного алгоритма с обменом данными между ветвями и синхронизацией потоков его ускорение может существенно зависеть от распределения входных данных между ветвями. Автором ничего не сказано об особенностях запускаемой параллельной программы, например, о частоте пересылки данных между ветвями параллельной программы и об объеме

пересылаемых данных, о частоте применения синхронизации и т.д. В связи с этим имеется несколько вопросов. Какие параллельные алгоритмы использовались для тестирования? Какие у них характеристики обмена данными и синхронизации?

6. В диссертационной работе не описана методология профилирования функционирования системы управления прохождением параллельных заданий с целью выяснения ее работоспособности, быстродействия, выявления причин аварийных остановок и т.д. Что автор предлагает в этом направлении?

В заключение отметим, что высказанные выше замечания не уменьшают научной значимости полученных автором результатов.

9. Заключение о работе

Представленная диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне, расширяющая область знаний о методах увеличения эффективности использования вычислительных ресурсов суперкомпьютера, в ней представлены теоретические положения и предложены новые научно обоснованные подходы к решению важных научных задач, имеющих большую практическую значимость.

Результаты исследований обладают научной новизной и достоверностью, все полученные выводы научно обоснованы.

Все выносимые на защиту научные положения получены соискателем лично. Из совместных исследований в диссертацию включены только те результаты, которые принадлежат непосредственно автору.

По теме диссертации автором опубликовано 45 печатных работ, из них 27 работ опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК, в том числе 20 работ – в журналах, входящих в индекс RSCI, 4 работы – в журналах, входящих в список K1 перечня ВАК, 15 работ – в журналах, индексируемых в международных базах научных изданий Web of Science и Scopus. По теме диссертации получено 6 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ и баз данных.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Общий объем диссертации – 295 страниц, в том числе 79 рисунков и 22 таблицы. Список литературы состоит из 242 наименований.

Тема и основные результаты диссертации соответствуют следующим областям исследований паспорта специальности 2.3.5 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей»: модели, методы, архитектуры, алгоритмы, языки и программные инструменты организации взаимодействия программ и программных систем; модели, методы, алгоритмы, облачные технологии и программная инфраструктура организации глобально распределенной обработки данных.

Совокупность полученных Антоном Викторовичем Барановым результатов позволяет заключить, что он достоин присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 2.3.5 – Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей.

Официальный оппонент:

Марченко Михаил Александрович,

доктор физико-математических наук, профессор РАН,

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук (ИВМиМГ СО РАН),

Телефон: +7 (383) 330-83-53

эл. почта: marchenko@sscc.ru

1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Проспект академика Лаврентьева, 6, 630090, Новосибирск, Россия,

Телефон: +7 (383) 330-83-53

эл. почта: director@sscc.ru

сайт: <https://icmmg.nsc.ru/>

« 21 » ноября 2025 г.

Подпись Марченко М.А. заверяю
ученый секретарь ИВМиМГ СО РАН
к.ф.-м.н.



Л.В. Вшивкова