

В диссертационный совет Д 801.02.06
при ФГАУ ВО «Южный федеральный
университет»

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Цымблера Михаила Леонидовича,

доктора физико-математических наук, профессора кафедры системного
программирования Высшей школы электроники и компьютерных наук

Южно-Уральского государственного университета,

на диссертационную работу Дордопуло Алексея Игоревича на тему
«Теоретические основы технологии ресурснезависимого
программирования гибридных вычислительных систем», представленную
на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности
2.3.5 «Математическое и программное обеспечение вычислительных
систем, комплексов и компьютерных сетей», технические науки

1. Актуальность темы исследования

В настоящее время прогресс в подавляющем большинстве наукоемких предметных областей (например, фармацевтика и фармакология, аэродинамика и авионика, гидродинамика и кораблестроение, автомобиле- и двигателестроение, моделирование климата и предсказание природных катаклизмов, энергетика и добыча полезных ископаемых) обусловлен использованием параллельных вычислительных систем с большим количеством функциональных устройств для проведения вычислительных экспериментов, моделирующих процессы и свойства объектов без проведения длительных, дорогостоящих и масштабных натурных испытаний.

Одним из широко используемых подходов к повышению производительности и эффективности вычислительных систем для широкого круга научных и практических задач является применение гибридных вычислительных систем (ГВС), предполагающих совмещение в одной системе различных вычислительных архитектур и объединение разнородных территориально-распределенных вычислительных систем в единый вычислительный комплекс. Совмещение в рамках ГВС вычислительных узлов, основанных на универсальных процессорах, графических процессорах и программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС), позволяет расширить область ее эффективного применения, но существенно усложняет программирование ввиду отсутствия унифицированной технологии программирования. В соответствии с этим *актуальной научной проблемой* является разработка теоретических основ программирования гибридных вычислительных систем, направленных на создание единой технологии и сокращение времени преобразования программ между различными архитектурами и конфигурациями ГВС.

2. Новизна научных положений, выводов и рекомендаций

В диссертации А.И. Дордопуло разработан ряд новых научных положений, понятий, принципов и методов, направленных на сокращение времени трансформации описания задач в тексты программ для различных конфигураций гибридных вычислительных систем. Автором выполнен ряд теоретических и экспериментальных исследований и получены следующие *новые научные результаты*:

1. Модель параллельных вычислений для гибридных вычислительных систем на основе информационного графа задачи, отличающаяся от известных аналогов наличием единой для различных вычислительных архитектур формы описания вычислений в виде кадровой структуры.
2. Представление кадровой структуры с использованием вычислительного ресурса как параметра параллельно-конвейерной реализации задачи на заранее неопределенном ресурсе гибридной вычислительной системы.
3. Принципы преобразования параметризованной аппаратным ресурсом кадровой структуры к архитектуре и конфигурации гибридной вычислительной системы с помощью редукции производительности.
4. Сформулированы и доказаны теоремы о применении методов редукции производительности для преобразования кадровой структуры к архитектуре и конфигурации гибридной вычислительной системы.
5. Метод преобразования кадровой структуры и сокращения аппаратных затрат с помощью редукции производительности, отличающийся использованием доступного аппаратного ресурса гибридной вычислительной системы как параметра портирования.
6. Метод преобразования и сокращения аппаратных затрат кадровой структуры, предполагающий организацию вычислений в форме микро-кадров и вычисления на ограниченном доступном аппаратном ресурсе с меньшей степенью параллелизма.
7. Метод преобразования задач, содержащих связанные информационной зависимостью подзадачи с разной степенью параллелизма, отличающийся от известных аналогов согласованной редукцией производительности различных по вычислительной трудоемкости кадровых структур с синтезом сбалансированного по интервалу обработки данных решения.
8. Технология ресурсонезависимого программирования гибридных вычислительных систем, объединяющая совокупность предложенных научных понятий и положений, выявленных закономерностей и принципов, разработанных методов и алгоритмов портирования.
9. Алгоритмы функционирования инструментальных программных средств технологии ресурсонезависимого программирования гибридных вычислительных систем: алгоритм преобразования параметризованной ресурсом кадровой структуры прикладной задачи к целевой архитектуре ГВС (с помощью разработанной автором программы «Прокруст») и алгоритм редукции производительности выделенного фрагмента задачи в

заданное коэффициентом редукции число раз при нехватке аппаратного ресурса (с помощью разработанной автором программы «Щелкунчик»).

3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Основные положения, выводы и рекомендации, полученные при решении исследуемой научной проблемы, *аргументированы и обоснованы* в достаточной мере. *Достоверность* полученных результатов подтверждается корректным использованием математического аппарата при теоретических обоснованиях и результатами вычислительных экспериментов на гибридных вычислительных системах, проведенных в соответствии с общепринятыми стандартами, а также актами внедрения разработанных в диссертации программных средств в различных организациях и учреждениях.

4. Значимость результатов диссертации для науки и практики

Полученные при решении поставленной научной проблемы результаты вносят *вклад в развитие теории параллельного программирования* высокопроизводительных вычислительных систем. Совокупность научных понятий и положений, выявленных закономерностей и сформулированных принципов, разработанных методов и алгоритмов портирования позволяют преобразовывать программы между вычислительными системами различных конфигураций и архитектур. Применение предложенных теоретических разработок на практике позволяет существенно сократить время портирования ресурсонезависимых программ на различные архитектуры и конфигурации гибридных вычислительных систем, обеспечивая при этом заданный уровень реальной производительности.

5. Оценка содержания диссертации

Диссертация А.И. Дордопуло обладает *внутренним единством*, является *законченной* научной работой, выполненной автором *самостоятельно* на высоком научно-техническом уровне, и направленной на решение актуальной научной проблемы. Диссертация содержит новые научно обоснованные технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны. Текст работы состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка из 248 наименований и трех приложений. Основное содержание работы изложено на 348 страницах.

Во введении приводится обоснование актуальности темы и степень ее разработанности, формулируются цели и задачи исследования, раскрываются новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе проведен анализ предметной области и сформулированы основные принципы ресурсонезависимого программирования гибридных вычислительных систем.

Во второй главе описано разработанное в рамках диссертационной работы представление вычислений для гибридных вычислительных систем и методы их преобразования.

В третьей главе предложены методы редукции производительности и аппаратных затрат для преобразования кадровых структур к целевой архитектуре гибридной вычислительной системы. Изложены теоретические основы и правила применения редукционных преобразований кадровой структуры к рациональным для целевых архитектур ГВС вариантам организации параллельных вычислений, а также оригинальная методика.

В четвертой главе представлены методы и алгоритмы преобразования прикладных задач к рациональному варианту реализации на целевых архитектурах гибридной вычислительной системы. Рассмотрены методы портирования задач, содержащих подзадачи с различными видами информационной зависимости и степенью параллелизма.

В пятой главе описаны разработанные программные средства технологии ресурснезависимого программирования и приведены результаты их тестирования при портировании прикладных задач, подтвердившие достижение цели диссертации, предложены направления дальнейшего развития предложенной технологии ресурснезависимого программирования.

В заключении приведены основные результаты и выводы, полученные в ходе диссертационных исследований.

6. Соответствие диссертации критериям, установленным в разделе 2

Положения о порядке присуждения ученых степеней в ЮФУ в редакции от 30.11.2021 № 260-ОД

Полученные научные результаты и выводы, приведенные в диссертации, оригинальны. Проведенные исследования позволили автору обосновать применение разработанных теоретических основ, методов и программных средств технологии ресурснезависимого программирования для сокращения времени портирования прикладных задач для гибридных вычислительных систем различных архитектур и конфигураций при заданном уровне реальной производительности.

Диссертация соответствует критериям, установленным в разделе 2 Положения о порядке присуждения ученых степеней в ЮФУ в редакции от 30.11.2021 № 260-ОД.

7. Подтверждение достаточной полноты публикаций основных положений, результатов, выводов и заключения диссертации

Результаты диссертационной работы были представлены на научно-технических конференциях как в России, так и за рубежом. По теме диссертации опубликовано 170 работ, из них 29 индексируется в Web of Science и Scopus, 36 работ напечатано в журналах, входящих в Перечень ВАК. На программные средства получено 15 свидетельств об официальной регистрации программ для ЭВМ. Результаты диссертации использовались во многих научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах.

8. Замечания

В качестве *замечаний* к диссертации, не снижающих новизны, теоретической и практической значимости и высокого научно-технического уровня проведенного исследования и полученных в данной работе результатов, необходимо отметить следующее.

1. Неясно, допускают ли предложенные автором методы и алгоритмы портирования задач возможность динамического выделения и перераспределения аппаратных ресурсов при изменении конфигурации гибридной вычислительной системы во время решения задачи.
2. Неясно, возможно ли применение разработанных автором методов и алгоритмов портирования задач на платформе грид-систем, которые объединяют географически распределенные подсистемы разных целевых архитектур в единую гибридную вычислительную систему.
3. Вычислительные эксперименты было бы желательно дополнить исследованием портирования задач интеллектуального анализа временных рядов (поиск аномалий, шаблонов, похожих подпоследовательностей и др.), имеющих важное значение в широком спектре научных областей (биоинформатика, сейсмология, моделирование климата и др.).
4. В тексте имеются стилистические погрешности касательно вводимых автором терминов. Нестандартным является термин «портация», применяемый автором вместо устоявшегося «портирование». Неясно, в чем преимущество используемого автором сокращения «м-кадр» вместо полного названия «микрокадр». Нечетко определен термин «софлагман»: неясно, в чем отличие данного объекта от «флагмана».
5. В тексте автор описывает разработанные алгоритмы с помощью несколько устаревших для этих целей блок-схем. Вместо этого желательно применение диаграмм деятельности UML (Unified Modeling Language).
6. Разработанное автором в рамках диссертационного исследования программное обеспечение (или хотя бы ту его часть, которая может быть открыта), желательно было бы разместить в виде общедоступного репозитория исходных текстов в Интернет-портале GitHub и добавить соответствующую библиографическую ссылку в тексты диссертации и автореферата.
7. В тексте присутствуют опечатки и пунктуационные ошибки. Встречается использование дефиса вместо тире, в т.ч. некорректное написание названия «метод Гаусса–Зейделя» через дефис (указывающий на двойную фамилию, но здесь название состоит из двух фамилий). Перекрестные ссылки в электронной версии текста не обеспечивают автоматический переход к источнику ссылки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация Дордопуло Алексея Игоревича является самостоятельной завершенной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная научная проблема сокращения времени портирования параллельных программ для гибридных вычислительных систем различных архитектур и конфигураций при заданном уровне реальной производительности, имеющая важное хозяйственное значение. Диссертационная работа по уровню проведенных исследований, актуальности, новизне и практической ценности полученных результатов удовлетворяет требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, соответствует пунктам «1. Модели, методы и алгоритмы проектирования, анализа, трансформации, верификации и тестирования программ и программных систем» (в части «модели, методы и алгоритмы проектирования и трансформации программ») и «8. Модели и методы создания программ и программных систем для параллельной и распределенной обработки данных, языки и инструментальные средства параллельного программирования» (в части «модели и методы создания программ для параллельной обработки данных», а также «инструментальные средства параллельного программирования» паспорта специальности 2.3.5 «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей». Диссертация **соответствует критериям, установленным в разделе 2 Положения о порядке присуждения ученых степеней в ЮФУ в редакции от 30.11.2021 № 260-ОД.**

В соответствии с изложенным выше считаю, что автор диссертационной работы, Дордопуло Алексей Игоревич, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.5 «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей», технические науки.

Официальный оппонент,
доктор физико-математических наук, профессор кафедры системного программирования Высшей школы электроники и компьютерных наук
Южно-Уральского государственного университета



Цымблер Михаил Леонидович

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»

454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76

Телефон: +7 (351) 267-90-06, доб. 112

E-mail: mzym@susu.ru



Подпись Цымблера удостоверяю
Начальник управления И.И.И.
по работе с кадрами Н.С. Минакова