

УТВЕРЖДАЮ

Врио генерального директора
Акционерного общества
«Всероссийский научно-
исследовательский институт

«Градиент»

Григорий Витальевич Бондарь



2023 г.

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Дордопуло Алексея Игоревича
на тему «Теоретические основы технологии ресурснезависимого
программирования гибридных вычислительных систем»,
представленной 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 диссертационной работы

Непрерывное увеличение вычислительной трудоемкости решаемых задач обусловлено развитием науки и техники. Для сохранения темпа роста производительности вычислительных систем в условиях замедления достижений микроэлектроники при создании элементной базы в настоящее время разрабатываются гибридные вычислительные системы (ГВС), которые кроме процессоров включают в себя специализированные вычислительные устройства (графические ускорители, ПЛИС и т.д.). Такие системы способны решать задачи с значительно большей эффективностью по сравнению с процессорными архитектурами, а некоторые компоненты ГВС, например, такие как ПЛИС, имеют перспективы развития элементной базы. Однако из-за отсутствия технологий и теоретических основ совместного использования различных узлов для организации вычислений методы программирования ГВС требуют очень высокой квалификации программиста (необходимы знания различных моделей вычислений,

языков и технологий программирования) и длительной и трудоемкой портации параллельной программы при изменении доступного вычислительного ресурса.

Согласно автореферату диссертационная работа А.И. Дордопуло направлена на разработку теоретических основ, методов и инструментальных программных средств ресурсонезависимого программирования, обеспечивающих сокращение времени портации прикладных задач для гибридных вычислительных систем различных архитектур и конфигураций при заданном уровне реальной производительности, что обуславливает **актуальность научной проблемы и темы диссертационного исследования** А.И. Дордопуло.

2. Цель работы, объект исследования, предмет, задачи и методы исследований, научная новизна результатов исследования, представленные в автореферате.

2.1. **Цель работы** состоит в сокращении времени портации параллельных программ для гибридных вычислительных систем.

2.2. **Объектом исследования** являются технологии программирования высокопроизводительных вычислительных систем, а **предметом исследования** - разработка теоретических основ, методов и инструментальных программных средств ресурсонезависимого программирования, обеспечивающих сокращение времени портации прикладных задач для гибридных вычислительных систем различных архитектур и конфигураций при заданном уровне реальной производительности.

2.3. Достижение поставленной цели обеспечивается решением следующих **задач исследования**:

2.3.1 Провести анализ современных вычислительных архитектур и тенденций их развития, определить их ограничения при эффективной реализации прикладных задач различных классов для высокопроизводительных гетерогенных вычислительных систем.

2.3.2 Проанализировать известные методы и технологии программирования высокопроизводительных вычислительных систем, сформулировать требования и принципы программирования конвергентных архитектур гибридных вычислительных систем.

2.3.3 Разработать теоретические основы ресурсонезависимого программирования: единую форму вычислений, параметром которой является доступный аппаратный ресурс, и методы ее преобразования к различным архитектурам гибридной вычислительной системы.

2.3.4 Разработать методику портации задач к рациональной реализации на заранее неопределенном вычислительном ресурсе гибридной вычислительной системы.

2.3.5 Разработать методы и алгоритмы портации прикладных задач различных классов, содержащих связанные информационной зависимостью подзадачи с различной степенью параллелизма.

2.3.6 Разработать инструментальные программные средства технологии ресурсонезависимого программирования, реализующие разработанные принципы, методы и алгоритмы портации прикладных задач на архитектуру и конфигурацию гибридной вычислительной системы при заданном уровне реальной производительности.

2.3.7 Провести апробацию технологии ресурсонезависимого программирования при решении прикладных задач различных предметных областей и сравнить результаты с известными решениями.

2.4. Методология и методы исследования.

Модель параллельных вычислений для гибридных вычислительных систем, разработанная в рамках диссертационного исследования, принципы преобразования параметризованной аппаратным ресурсом кадровой структуры к архитектуре и конфигурации гибридной вычислительной системы, а также методы преобразования кадровой структуры и сокращения аппаратных затрат базируются на результатах исследований ведущих ученых внесших значительный вклад в теорию и практику программирования высокопроизводительных вычислительных систем.

Сформулированные принципы открывают возможности разработки новых научных понятий и положений ресурсонезависимого программирования для описания единой модели вычислений, а также формализованных методов и алгоритмов ее портации -преобразования в модель реализации для гетерогенного вычислительного ресурса, содержащего вычислительные узлы на основе процессоров, графических ускорителей и ПЛИС.

3. Научная новизна совокупного научного результата

Из рассмотрения автореферата диссертации А.И. Дордопуло следует, что в процессе решения частных научных задач, обусловленных целью работы, диссертантом проведены исследования, к числу **наиболее значимых научных результатов работы**, обладающих **научной новизной**, могут быть отнесены.

3.1 Модель параллельных вычислений для гибридных вычислительных систем на основе информационного графа задачи, **отличающейся** от известных единой для различных вычислительных архитектур формой описания вычислений в виде кадровой структуры с учётом представление кадровой структуры с использованием вычислительного ресурса как параметра параллельно-конвейерной реализации задачи на заранее неопределенном ресурсе гибридной вычислительной системы.

3.2 Принцип преобразования параметризованной аппаратным ресурсом кадровой структуры к архитектуре и конфигурации гибридной вычислительной системы с помощью редукции производительности с использованием теоремы о применении методов редукции производительности для преобразования кадровой структуры к архитектуре и конфигурации гибридной вычислительной системы.

3.3 Метод преобразования кадровой структуры и сокращения аппаратных затрат с помощью редукции производительности, **отличающийся** использованием доступного аппаратного ресурса гибридной вычислительной системы как параметра портации, а также метод преобразования и сокращения аппаратных затрат кадровой структуры на основе синтеза последовательности микрокадров, выполняющих вычисления структурно с сокращенной степенью параллелизма на ограниченном доступном ресурсе (меньшем ресурса аппаратной реализации базового подграфа).

3.4 Метод преобразования задач, содержащих связанные информационной зависимостью подзадачи с разной степенью параллелизма, **отличающийся** от известных согласованной редукцией производительности различных по вычислительной трудоемкости кадровых структур с синтезом сбалансированного по интервалу обработки данных решения.

3.5 Теоретические основы технологии ресурсонезависимого программирования гибридных вычислительных систем, объединяющие совокупность предложенных научных понятий и положений, выявленных закономерностей и принципов, разработанных методов и алгоритмов портации в достаточную для синтеза рационального решения задачи методику

3.6 Алгоритмы функционирования инструментальных программных средств технологии ресурсонезависимого программирования гибридных вычислительных систем: алгоритм преобразования параметризованной ресурсом кадровой структуры прикладной задачи к целевой архитектуре ГВС программой «Прокруст» и алгоритм редукции производительности выделенного фрагмента задачи в заданное коэффициентом редукции число раз при нехватке аппаратного ресурса программой «Щелкунчик».

Новизна полученных результатов подтверждается отсутствием аналогов, опубликованных в открытых источниках.

4. Степень достоверности и значимость результатов исследований для теории и практики развития гибридных вычислительных систем, полученных автором в диссертации.

4.1. **Достоверность** полученных результатов диссертационных исследований подтверждается их использованием и успешной реализацией в ходе вы-

полнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах, а также совпадением частных результатов исследований с известными. Полученный эффект оценен на реальной и гибридной вычислительных системах (РВС и ГВС).

4.2. Теоретическая значимость работы состоит в том, что разработанные теоретические основы, методы преобразования, алгоритмы и программные средства портации позволили создать технологию ресурснезависимого программирования ГВС, апробированную при решении ряда прикладных задач, содержащих связанные информационной зависимостью подзадачи с разной степенью параллелизма. Внедрение разработанной технологии программирования ГВС открывает возможность создания автоматического распараллеливающего компилятора для систем с распределенной памятью, позволяющего сократить время портации программ на процедурных языках программирования в ресурснезависимые параллельно-конвейерные решения для ГВС,

4.3. Практическая значимость работы и полученные результаты эффективности портации ресурснезависимых программ подтверждаются актами внедрения результатов в академических, научно-исследовательских и промышленных организациях, а все разработанные методы преобразования кадровой структуры формализованы и адаптированы для автоматического применения. . Применение разработанных инструментальных средств технологии ресурснезависимого программирования для портации прикладных задач математической физики, символьной и цифровой обработки сигналов с различными видами информационной зависимости позволяет в 3-6 раз сократить время портации ресурснезависимых программ на различные архитектуры и конфигурации ГВС с обеспечением реальной производительности не ниже заданного уровня.

4.3 Апробация и публикация результатов диссертации.

Результаты диссертации опубликованы более чем в 170 работах, из которых 29 индексируется в международных базах наукометрических данных Web of Science и Scopus, 36 работ из списка ВАК РФ, получено 15 свидетельств об официальной регистрации программ для ЭВМ.

5. Реализация и внедрение результатов исследования. Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертации

5.1 Основные результаты диссертационных исследований были использованы более чем в 25 научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах, среди которых можно отметить следующие:

5.1.1 ОКР «Разработка технологии создания высокопроизводительных модульно-наращиваемых многопроцессорных вычислительных систем с про-

граммируемой архитектурой на основе реконфигурируемой элементной базы» (НИИ МВС ТРТУ, г/к № 02.447.11.1007 от 06 июля 2005 г., шифр "Медведь", № гос. рег. 0122.0510630, 20052006).

5.1.2 ОКР «Создание семейства высокопроизводительных многопроцессорных вычислительных систем с динамически перестраиваемой архитектурой на основе реконфигурируемой элементной базы и их математического обеспечения для решения вычислительно трудоемких задач» (НИИ МВС ЮФУ, шифр "Большая Медведица", № ГР 01.2007 05707, 2007-2008).

5.1.3 НИР «Разработка теоретических основ построения гетерогенных многопроцессорных вычислительных систем с программируемой архитектурой» (НИИ МВС ЮФУ, шифр "Карнавал", № ГР 01.2007 02728, 2007-2010).

5.1.4 ОКР «Разработка реконфигурируемой вычислительной системы РВС-7 и организация на ее основе производства реконфигурируемых вычислительных систем с производительностью до 10^{15} операций в секунду в одностоечном конструктиве 47U» (НИИ МВС ЮФУ, шифр 2011-2.7-527-008-001 «Плеяда», № ГР И111102120521, 20112013).

5.1.5 НИР «Разработка и исследование технологии создания ресурсонезависимого прикладного программного обеспечения высокопроизводительных вычислительных систем гибридного типа» (НИИ МВС ЮФУ, шифр «Русалка», № ГР 114101540025, 20142016).

5.1.6 НИОКР «Разработка нового поколения программного обеспечения РВС для решения ресурсоемких научно-технических задач различных предметных областей», (НИЦ СЭ и НК, шифр «Поколение», 2016-2023).

5.2 Результаты диссертационной работы были представлены на ряде международных и всероссийских тематических конференций, среди которых можно выделить следующие:

в России: серия международных научных школ «Высокопроизводительные вычислительные системы» (ВПВС), 2004, 2005, 2007, 2011 гг.; серия всероссийских научных конференций «Научный сервис в сети Интернет», г. Новороссийск, 2006-2014 гг; серия Международных научных конференций «Параллельные вычислительные технологии» (ПАВТ), 2011-2021 гг.; серия международных научно-практических конференций «Искусственный Интеллект. Интеллектуальные и многопроцессорные системы» (ИИ), 2004, 2006, 2008, 2010 гг.; международные научно-технические конференции «Многопроцессорные вычислительные и управляющие системы» (МВУС), 2007 г., 2009 г.; серия международных научных конференций «Суперкомпьютерные системы и их применение» (SSA), 2008, 2010, 2012 гг.; международные научно-технические конференции «Суперкомпьютерные технологии» (СКТ), 2010, 2012, 2014, 2016, 2018, 2020 гг.; международные конференции «Parallel Computing Technologies»

6. Недостатки и замечания к автореферату и диссертационной работе.

Вместе с тем, анализ материалов автореферата дает основание отметить следующие **недостатки** работы:

6.1 Не обоснована целесообразность формирования м-кадров для целевых архитектур универсальных процессоров и графических ускорителей;

6.2 Не рассмотрены примеры применения разработанных средств технологии ресурсонезависимого программирования для целевой архитектуры графических ускорителей.

Сформулированные замечания в определенной мере снижают качество диссертации, однако не снижают научной и практической ценности диссертационных исследований и не влияют на общую положительную оценку работы и практическую ценность полученных результатов.

7. Заключение

7.1. Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации. В нем изложены все основные результаты, выносимые на защиту, дано достаточно полное представление о научной и практической значимости работы, оформлен аккуратно и соответствует требованиям ГОСТ 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации». По материалам, изложенным в автореферате диссертации, можно сделать вывод о том, что диссертация А.И. Дордопуло на тему «Теоретические основы технологии ресурсонезависимого программирования гибридных вычислительных систем», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.5 - Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей, технические науки, является завершенной научно - квалификационной работой, имеющей важное научно – практическое значение и состоящей в решении актуальной научной проблемы обеспечения единого представления параллельных вычислений для процессоров, графических ускорителей и ПЛИС, а также автоматической портации прикладных программ на различные архитектуры и конфигурации ГВС,

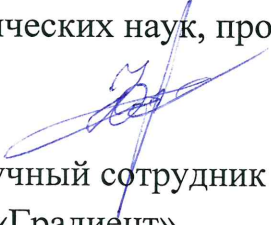
Сформулированные недостатки не снижают теоретической и практической значимости полученных научных результатов и определяют возможные дальнейшие направления исследований в рамках рассматриваемой предметной области. Диссертация заслуживает положительной оценки.

7.2. Диссертация выполнена на высоком научном уровне, содержание диссертационной работы соответствует всем квалификационным требованиям, установленным в разделе 2 Положения «О присуждении ученых степеней в

ЮФУ» в редакции от 27.01.2023 г. приказ №7-ОД, а ее автор, Дордопуло Алексей Игоревич, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.5 - Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей, технические науки.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании НТС АО «ВНИИ «Градиент», протокол № 23/08/4 от 23 августа 2023 года.

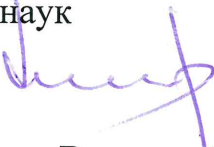
Ведущий научный сотрудник аспирантуры
АО «ВНИИ «Градиент»,
доктор технических наук, профессор

 Булычев Юрий Гурьевич

Ведущий научный сотрудник аспирантуры
АО «ВНИИ «Градиент»,
кандидат технических наук, доцент

 Стуров Александр Григорьевич

Ученый секретарь НТС АО «ВНИИ «Градиент»
кандидат технических наук

 Макарчиков Михаил Иванович

Акционерное общество «Всероссийский научно-исследовательский институт «Градиент» (АО «ВНИИ «Градиент»)

Почтовый адрес: 344000, г. Ростов-на-Дону, пр. Соколова, 96

Тел.: +7 (863) 204-20-31,

Факс: +7 (863) 232-03-45,

Сайт: <http://www.gradient.aaanet.ru>

Электронная почта: rostov@gradient-rnd.ru