

УТВЕРЖДАЮ:

Директор Федерального
государственного учреждения

«Федеральный исследовательский
центр ИППМ им М. В. Келдыша РАН»

член-корреспондент РАН

А. И. Аптекарев



Аптекарев

«28»

июня

2019 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного учреждения

«Федеральный исследовательский центр

Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша

Российской академии наук»

Диссертация «Автоматизация распараллеливания Фортран-программ для гетерогенных кластеров» выполнена на кафедре системного программирования факультета вычислительной математики и кибернетики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» и в отделе №17 «Программного обеспечения высокопроизводительных вычислительных систем и сетей» Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша Российской академии наук».

В период подготовки диссертаций соискатель Колганов Александр Сергеевич был аспирантом кафедры системного программирования факультета вычислительной математики и кибернетики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский

государственный университет имени М.В. Ломоносова», а также осуществлял научно-исследовательскую деятельность на кафедре и работал в отделе №17 «Программное обеспечение высокопроизводительных вычислительных систем и сетей» Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр Института прикладной математики им. М. В. Келдыша Российской академии наук».

В 2014 году окончил факультет вычислительной математики и кибернетики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» по специальности «Прикладная математика и информатика».

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2019 году Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова».

Научный руководитель — Крюков Виктор Алексеевич, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша Российской академии наук».

По итогам обсуждения было принято следующее заключение.

Оценка выполненной соискателем ученой степени работы. Настоящая диссертационная работа посвящена дальнейшему развитию системы автоматизации распараллеливания Фортран-программ (САПФОР) в следующих направлениях: автоматизация выполнения преобразования исходных последовательных программ, что позволит облегчить и ускорить распараллеливание программ для гибридных кластеров; обеспечение поэтапного (инкрементального) распараллеливания больших программ и программных комплексов, что позволит существенно расширить класс программ, для которых можно успешно применять систему; повышение эффективности выполнения

параллельных программ за счет развития алгоритмов распределения данных, распределения вычислений, организации доступа к удаленным данным, а также выделения фрагментов кода, которые могут быть выполнены на графических процессорах.

Соискателем были спроектированы, разработаны и реализованы алгоритмы распараллеливания последовательных Фортран-программ для кластеров с ускорителями (графическими процессорами); алгоритмы построения схем распараллеливания реализованы в автоматически распараллеливающем компиляторе, являющимся ядром новой системы автоматизации распараллеливания SAPFOR 2, которая позволяет программисту активно участвовать в процессе распараллеливания своей программы (задавать свойства программы, выполнять ее преобразования, корректировать результаты алгоритмов автоматического распараллеливания); для поддержки инкрементального (пошагового) распараллеливания спроектированы и разработаны средства выделения в программе областей и задания режимов их распараллеливания. Система автоматизации распараллеливания SAPFOR 2 была апробирована при распараллеливании тестов NAS NPB 3.3 и нескольких Фортран-программ, созданных в ИПМ им. М. В. Келдыша РАН и других организациях. Результаты апробации подтвердили высокое качество разработанных алгоритмов, продемонстрировав эффективность получаемых параллельных программ и значительное ускорение и упрощение их разработки.

Личный вклад соискателя состоит в следующем. Содержание диссертации и основные положения, выносимые на защиту, отражают персональный вклад автора в проведенное исследование. Разработка, проектирование и реализация алгоритмов распределения данных, вычислений и отображения на ускорители проведены лично автором.

Достоверность результатов, полученных соискателем, подтверждается

публикациями в рецензируемых научных изданиях, а также апробацией на российских и международных конференциях и семинарах.

Научная новизна работы заключается в следующем. В результате данной работы были разработаны новые алгоритмы распределения данных и распределения вычислений. Данные алгоритмы основываются на теории графов и используют статическую и динамическую (в случае ее наличия) информацию о распараллеливаемом программном комплексе.

Спроектирован, разработан и реализован механизм областей распараллеливания, что существенно расширило класс задач, к которым можно применить систему SAPFOR 2. Была разработана, спроектирована и реализована новая система (SAPFOR 2) автоматизации отображения Фортран-программ на гетерогенный кластер с поддержкой инкрементального распараллеливания. Предложенная структура системы позволяет легче расширять ее — для добавления новых возможностей по анализу или преобразованию кода можно использовать уже существующие требуемые для этого блоки анализа или преобразований, чтобы сосредоточиться на реализации новой функциональности.

Проведенные исследования применимости системы SAPFOR 2 к тестам и реальным приложениям показали высокую эффективность предложенного подхода, позволяющего значительно упростить и ускорить разработку эффективных параллельных программ для гетерогенных кластеров, и также показали, что для определенного класса задач можно писать последовательные программы на языке Фортран, которые будут автоматизировано (либо автоматически) распараллелены и эффективно выполнены на таких кластерах.

Теоретическая и практическая значимость состоит в следующем. В рамках данной диссертационной работы соискателем был предложен новый, инкрементальный, подход к автоматизации распараллеливания программ на гетерогенные кластеры. На базе разработанной и спроектированной архитектуры

автоматизированного распараллеливания программ была создана новая система SAPFOR 2, включающая в себя множество алгоритмов анализа и преобразования исходного кода программы. Реализованная система позволяет выполнять инкрементальное автоматизированное распараллеливание класса программ, использующих структурные сетки и написанных на языке Фортран 95 с некоторыми ограничениями входного языка. Структура разработанной системы SAPFOR 2 позволяет легче расширять ее функциональность новыми возможностями благодаря использованию модульной организации алгоритмов анализа и преобразований.

Специальность, которой соответствует диссертация. Диссертация соответствует специальности 05.13.11 – математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей. Диссертационная работа написана на высоком научном уровне. Результаты, изложенные в работе, получены автором самостоятельно, являются новыми и представляют научный интерес.

Полнота изложения материалов диссертации в работах. Основные результаты диссертационной работы были доложены и опубликованы в статьях на российских и международных научных конференциях и семинарах, таких как «Технологии параллельной обработки графов», «Параллельные вычислительные технологии», «Суперкомпьютерные дни в России», «Ломоносовские чтения», «Национальный Суперкомпьютерный Форум», «Научный сервис в сети интернет». Основные результаты, полученные в диссертации, опубликованы в следующих работах, две из которых в журналах из списка ВАК.

1. Решение прикладных задач с использованием DVM-системы / А.С. Колганов [и др.] // Журнал ЮУрГУ "Серия Вычислительная математика и информатика". — 2019. — Т. 8, № 1. — С. 89—106. — DOI: 10.14529/cmse190106.

2. Колганов, А.С. Автоматизированное распараллеливание задачи моделирования распространения упругих волн в средах со сложной 3D геометрией поверхности на кластеры разной архитектуры / А. С. Колганов, Н. А. Катаев, П. А. Титов // Журнал Вестник УГАТУ "Серия управление, вычислительная техника и информатика". — 2017. — Т. 21, № 3. — С. 87—96.
3. Kolganov, A.S. The experience of using DVM and SAPFOR systems in semiautomatic parallelization of an application for 3D modeling in geophysics / A.S. Kolganov, N.A. Kataev // Journal Springer International Publishing Parallel Computing Technologies. — 2018. — P. 286—291. — DOI: 10.1007/s11227-018-2551-y.
4. Kolganov, A. S. Automated Parallelization of a Simulation Method of Elastic Wave Propagation in Media with Complex 3D Geometry Surface on High-Performance Heterogeneous Clusters / A.S. Kolganov, N.A. Kataev, P.A. Titov // Journal Springer International Publishing Parallel Computing Technologies. — 2017. — No. 10421. — P. 32—41. — DOI: 10.1007/978-3-319-62932-2_3.
5. Колганов, А.С. Автоматическое инкрементальное распараллеливание больших программных комплексов с помощью системы SAPFOR / А.С. Колганов, С.В. Яшин // Труды Международной научной конференции "Параллельные вычислительные технологии". — 2019. — С. 275—287.
6. Колганов, А.С. Поддержка интерактивности в системе САПФОР / А.С. Колганов, Н.А. Катаев, А.А. Смирнов // Труды Всероссийской научной конференции "Научный сервис в сети Интернет". — 2017. — С. 243—249. — DOI: 10.20948/abrau-2017.
7. Автоматизация распараллеливания программных комплексов / А.С. Колганов [и др.] // Труды Всероссийской научной конференции "Научный сервис в сети Интернет". — 2016. — С. 76—85. — DOI: 10.20948/abrau-2016.

8. Инкрементальное распараллеливание для кластеров в системе САПФОР / А.С. Колганов [и др.] // Труды Всероссийской научной конференции "Научный сервис в сети Интернет". — 2017. — С. 48—52. — DOI: 10.20948/abrau-2017.

Диссертационная работа Колганова Александра Сергеевича «Автоматизация распараллеливания Фортран-программ для гетерогенных кластеров» удовлетворяет требованиям, предъявляемым ВАК к диссертационным работам, выдвигаемым на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, и рекомендуется к защите по специальности 05.13.11 на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук в Федеральном государственном учреждении «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН». Представленная диссертация является самостоятельно выполненной, законченной научно-исследовательской работой, посвящённой решению актуальных задач в области распараллеливания программ.

Заключение принято на заседании расширенного семинара информационно-издательского отдела Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша Российской академии наук». Руководитель семинара: доктор физико-математических наук Горбунов-Посадов Михаил Михайлович. Присутствовало на заседании 19 человек. Результаты голосования: «за» — 19 человек, «против» — 0 человек, «воздержалось» — 0 человек, протокол № 8 от 20 июня 2019 года.

Зав. информационно-издательским отделом

д.ф.-м.н.

27 июня 2019 г.



М.М.Горбунов-Посадов