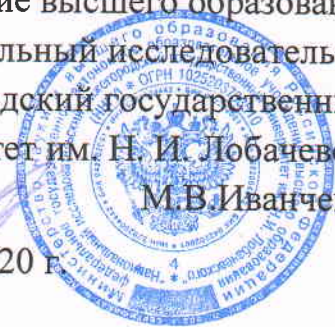


«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе  
Федерального государственного  
автономного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский  
Нижегородский государственный  
университет им. Н. И. Лобачевского»  
М.В.Иванченко

«17.08.2020 г.»



### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Колганова Александра Сергеевича «Автоматизация распараллеливания Фортран-программ для гетерогенных кластеров», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.11 – «математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей».

#### **Актуальность**

Эффективное использование вычислительного потенциала современных высокопроизводительных вычислительных систем (ВВС) является одной из критически важных проблем компьютерного мира (реальная достигаемая производительность вычислительных систем достаточно часто не превышает 10% от пиковой – теоретически максимально возможной – производительности). Огромный объем существующего на данный момент времени программного обеспечения рассчитан на последовательное выполнение вычислений. Использование данного ПО на параллельных вычислительных системах требует или глубокой переработки или, в предельном случае, разработки параллельных программ с самого начала. Кроме того, существующие высокопроизводительные системы являются чрезвычайно разнородными – это и многоядерные процессоры, вычислительные узлы с распределенной памятью, ускорители вычислений (например, графические процессоры общего назначения). В определенном плане, системы высокой производительности являются уникальными – во многих случаях, параллельная программа, эффективно работающая на системе какой-то определенной архитектуры, является крайне неэффективной при использовании на системе с другой архитектурой.

Разработка параллельных программ для высокопроизводительных вычислительных систем различной архитектуры является чрезвычайно

трудоемкой деятельностью, требующей привлечения коллективов разработчиков высокой квалификации. Данная проблема является тем более сложной, что ВВС системы используются для решения вычислительно трудоемких задач, требующих разработки масштабного программного обеспечения. В дополнение ко всему перечисленному, ВВС стремительно совершенствуются, что требует соответствующей адаптации существующего ПО. В целом, «ручная» разработка параллельного ПО является высоко затратной и не соответствует возможностям современных ВВС систем.

Возможный способ снижения остроты проблемы состоит в применении новых языков параллельного программирования. Однако использование таких языков часто приводит к необходимости большого объема повторного программирования, а параллельные обобщения широко используемых языков программирования Фортран и С – такие как, URСили HPF– не приводят к должному уровню повышения эффективности получаемых в результате параллельных программ.

Как результат, практическое решение проблемы разработки высокоэффективного параллельного программного обеспечения для высокопроизводительных вычислительных систем может быть обеспечено только за счет средств автоматизации разработки параллельных программ. Понятно, в идеальном случае, такие средства должны обеспечивать возможность автоматического построения параллельных программ – к сожалению, такой способ возможен только в крайне ограниченных случаях для небольшого количества областей приложений. Практически достижимый подход состоит в автоматизированном варианте преобразования последовательных программ в их параллельные обобщения. Одним из наиболее широко известным воплощением такого подхода является DVM-технология, активно развиваемая в Институте прикладной математики РАН под руководством проф. В.А. Крюкова.

Диссертационная работа Колганова А.С. направлена на исследование возможных способов обобщения DVM-технологии для высокопроизводительных вычислительных систем многоуровневой архитектуры, использующих разнородные (многоядерные процессоры, вычислительные узлы с распределенной памятью, графические процессоры).

### **Общая характеристика работы**

*В первой главе* описываются проблемы отображения на кластер и причины необходимости создания автоматизированных и автоматических систем распараллеливания для кластеров.

*Во второй главе* приводится схема работы и структура разрабатываемой в рамках диссертационного исследования системы SAPFOR 2. Новая система призвана устранить основные недостатки предыдущей системы автоматизации распараллеливания САПФОР и

расширить класс программ, использующих структурные сетки, к которым можно было бы ее применить.

*В третьей главе* описываются основные объекты анализа программы – циклы и функции. Рассматриваются алгоритмы заполнения дерева циклов и графа вызовов функций. Рассматриваются проблемы межпроцедурного анализа, которые возникают в процессе распараллеливания циклов и программы в целом. Дается описание решения данных проблем в виде преобразования «подстановка функции» и «дублирование цепочек вызовов функций».

*В четвертой главе* вводится описание механизма областей распараллеливания. Под областью распараллеливания понимается совокупность исполняемых операторов исходного кода программы, описываемых с помощью фрагментов. В свою очередь под фрагментом поднимается множество исполняемых операторов в рамках одной области вложенности (функция, процедура, цикл, условный оператор и т.д.) с одним входом и несколькими выходами. Вводится понятие конфликта областей, и описываются алгоритмы разрешения данных конфликтов.

*Пятая глава* посвящена алгоритмам построения распределения данных и вычислений, отображению на гетерогенный кластер. В разделе 5.1 дается описание способов отображения на кластер и их характеристика. В разделе 5.2 описывается алгоритм связи массивов в программе между собой. В разделе 5.3 описывается алгоритм построения распределения вычислений и доступа к удаленным данным. В разделе 5.4 описывается алгоритм расстановки вычислительных регионов – фрагментов программы, которые целесообразно выполнять на ускорителях. В разделе 5.5 описывается алгоритм выбора эффективных схем распараллеливания программы посредством грубого подсчета характеристик ее параллельного выполнения.

*В шестой главе* приводятся основные результаты исследования реализованных алгоритмов автоматизированного распараллеливания в системе SAPFOR 2 на тестовых и прикладных программах, характеристики системы SAPFOR 2 и выносимые на защиту основные результаты работы.

*В заключении* формулируются основные результаты диссертационной работы и возможные направления дальнейших исследований.

### **Основные результаты диссертации и новизна проведенных исследований**

К новым основным результатам выполненной диссертационной работы следует отнести:

- Развитие DVM-технологии для распараллеливания последовательных Фортран-программ научно-технического назначения, что обеспечивает возможность эффективного использования высокопроизводительных вычислительных систем гетерогенной



архитектуры, включающих многоядерные процессоры, вычислительные узлы с распределенной памятью, графические процессоры общего назначения.

- Реализация средств поддержки методики инкрементального (пошагового) распараллеливания сложных программ, позволяющей последовательно повышать эффективность разрабатываемого параллельного ПО.

- Разработка системы автоматизации распараллеливания SAPFOR 2 и ее апробация при распараллеливании тестов NAS NPВ 3.3 и прикладного программного обеспечения, разработанного с использованием языка Фортран в ИПМ РАН и других организациях.

### **Обоснованность, достоверность, апробация и публикация результатов**

Результаты были опубликованы в рецензируемых журналах, в том числе в журналах из «Перечня научных рецензируемых изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени кандидата наук» – 4 работы. Список конференций, семинаров и полный список публикаций автора по теме диссертации приведен в автореферате диссертации.

### **Значимость полученных результатов**

В рамках данной диссертационной работы было предложено обобщение DVM-технологии для автоматизации распараллеливания программ высокопроизводительных вычислительных систем гетерогенной архитектуры. На базе разработанной и спроектированной архитектуры автоматизированного распараллеливания программ была реализована новая система SAPFOR 2. Реализованная система позволяет выполнять инкрементальное автоматизированное распараллеливание класса последовательных программ, разработанных на языке Фортран 95 с некоторыми ограничениями входного языка. Структура разработанной системы SAPFOR 2 позволяет легче расширять ее функционал новыми возможностями благодаря использованию модульной организации.

### **Замечания по диссертационной работе**

После тщательного анализа диссертационной работы А. С. Колганова следует отметить следующие замечания.

1. Первая группа замечаний имеет отношение к общей организации работы.

1.1. Текст диссертации представлен в описательной форме. Более правильно было бы придерживаться более строгой формы изложения: выделить вводимые определения, рассматриваемые процедуры представить в принятой алгоритмической форме, используемые данные определить как соответствующие структуры данных.

1.2. В диссертации часто делается отсылка к «модели DVMH» – изложение данной модели представлено крайне ограничено и разрознено по тексту диссертации.

1.3. Представленный в начале диссертации обзор современного состояния предметной области крайне ограничен.

1.4. В диссертации в ряде случаев приводятся категоричные высказывания вида «не удавалось ни одной системе автоматического или автоматизированного распараллеливания» (стр. 14), «в настоящее время нет ни одного общепризнанного высокоуровневого языка параллельного программирования для современных кластеров» (стр. 19) и др. – такие утверждения являются достаточно спорными.

1.5. Выбранное название подсистемы «модуль визуализации» представляется не точным – скорее всего, это среда разработки параллельных программ.

1.6. В диссертации указывается, что разработанная система SAPFOR 2 является развитием системы САПФОР – следовало бы более четко указать, что из системы САПФОР используется в новой системе SAPFOR 2. Полезно было бы и пояснить, почему для системы САПФОР используется русская аббревиатура, а для системы SAPFOR 2 используется аббревиатура на английском языке.

2. Вторая группа замечаний относится к содержанию выполненного диссертационного исследования.

2.1. Возможность построения параллельных программ с использованием графических процессоров является важным достоинством системы SAPFOR 2, однако данный аспект практически не рассматривается в диссертации (приводятся только результаты вычислительных экспериментов).

2.2. Вычислительные эксперименты выполнены при использовании до 16 вычислительных узлов. Для современных вычислительных систем характерно наличие более значительного количества вычислителей – крайне полезны были бы оценки максимально возможной (по количеству вычислительных узлов) применимости разработанной системы SAPFOR 2.

2.3. Результаты вычислительных экспериментов следовало бы сравнить с результатами, которые могли бы быть получены с использованием близких подходов (в частности, при использовании языков параллельного программирования модели PGAS).

2.4. Следовало бы более четко сформулировать основные результаты диссертационной работы – так, например, высказывание «разработан новый метод инкрементального (пошагового) распараллеливания» не является точным, скорее всего, здесь идет речь о методике или технологии.

## Заключение

Диссертация А. С. Колганова является завершенной научно-исследовательской работой на актуальную тему автоматизации разработки параллельных программ для современных высокопроизводительных компьютеров. Все результаты являются новыми и получены автором самостоятельно и говорят о высокой научной квалификации автора. Достоверность результатов подтверждается научной экспертизой при представлении результатов исследования на научных конференциях, при опубликовании в научных изданиях, результатами выполненных вычислительных экспериментов.

Основные положения диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях и правильно отражены в автореферате диссертации. На основании вышесказанного можно утверждать, что диссертация А. С. Колганова удовлетворяет требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации, а ее автор, Колганов Александр Сергеевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.11 – «математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей».

Отзыв подготовил директор Института информационных технологий, математики и механики Национального исследовательского Нижегородского государственного университета Н. И. Лобачевского, зав. кафедрой программной инженерии, д.т.н., профессор Гергель В. П. Отзыв заслушан и одобрен на расширенном заседании кафедры программной инженерии и кафедры математического обеспечения и суперкомпьютерных технологий Института информационных технологий, математики и механики Национального исследовательского Нижегородского государственного университета Н. И. Лобачевского 10 сентября 2020 года (протокол 2).

Директор Института информационных технологий,  
математики и механики Национального исследовательского  
Нижегородского государственного университета Н. И. Лобачевского,  
зав. кафедрой программной инженерии, д.т.н., проф.  
г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23  
Тел.: +7 (831) 462-33-56, [gergel@unn.ru](mailto:gergel@unn.ru)



Гергель В. П.

«17» сентября 2020 г.