

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

*Акопяна Манука Сосовича*

### **«Инструментальные средства поддержки автоматизированной разработки параллельных программ»,**

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.

#### **1. Актуальность темы диссертации**

В настоящее время большая часть высокопроизводительных вычислительных систем представляет собой машины с многоядерными процессорами, соединенными высокоскоростной коммуникационной сетью. Такие системы обладают двумя видами параллелизма: параллелизм внутри каждого узла и параллелизм между узлами системы. Прикладные параллельные программы, предназначенные для таких систем, в основном разрабатываются на последовательных языках C/C++, Fortran, а параллелизм обеспечивается внутри узла средствами OpenMP, между узлами системы библиотекой MPI. Это связано с необходимостью ручной доводки программ и требует высокой квалификации разработчиков, что, в свою очередь, влечет увеличение трудоемкости разработки параллельных программ. Работы в области создания инструментальных средств, снижающих трудоемкость разработки параллельных программ, на протяжении многих лет сохраняют неизменную актуальность.

Диссертационная работа Акопяна М.С., выполненная в федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт системного программирования Российской академии наук, посвящена разработке инструментальных средств, обеспечивающих снижение трудоемкости разработки прикладных параллельных программ для современных высокопроизводительных систем с многоядерными узлами. Предлагаемые

инструменты позволяют автоматизированно выявлять коммуникационные шаблоны функций MPI, используя в качестве входных данных как реальную, так и модельную трассу выполнения программы.

Существует много систем, позволяющих создавать и анализировать трассы выполнения параллельных программ. Однако, они не предоставляют набора инструментов, необходимых для разработки и отладки на инструментальной машине, без использования дорогостоящего и не всегда доступного целевого суперкомпьютера. Таким образом, работа Акопяна М.С., в которой предлагается новый подход, основанный на автоматизированном анализе модельной трассы, является актуальной.

## **2. Общая характеристика диссертационной работы**

Диссертация состоит из введения, шести разделов, заключения, библиографии и одного приложения.

**Во введении** обсуждается и ставится цель диссертационной работы, обосновывается ее актуальность, и приводятся основные результаты.

**Во втором разделе** автор рассматривает основные проблемы, связанные с решаемой задачей, и приводит сравнительный анализ существующих инструментальных систем, поддерживающих разработку параллельных программ с распределенной памятью.

**В третьем разделе** автор описывает разработанную им модель параллельной SPMD программы, где процессы обмениваются сообщениями посредством MPI, а внутри каждого процесса могут быть использованы Java-потoki. Описывается моделирование коммуникационных функций. Также автор описывает схему построения модели параллельной многопоточной Java-программы.

**В четвертом разделе** автор описывает интерпретатор, реализованный им на основе разработанной модели. Далее автор описывает метод позволяющий интерпретировать параллельные программы, размер памяти которых превышает доступную физическую память. Также описывается метод получения оценок времени выполнения и выводятся оценки погрешности прогнозирования времени выполнения сверху.

**В пятом разделе** описывается предлагаемый метод по автоматизированному выявлению коммуникационных шаблонов MPI, приводящих к потере производительности. Предлагаемый метод может обнаруживать шаблоны, как на трассе времени выполнения, так и на модельной трассе, полученной во время интерпретации. Автор приводит описание семнадцати типов шаблонов.

**Шестой раздел** содержит описание программного обеспечения.

**Седьмой раздел** содержит результаты проведенных экспериментов.

**В заключении** сформулированы основные результаты и выводы диссертации.

Библиография является достаточно полной и содержит ссылки на все основные публикации по теме.

Разработанная модель, реализованный на ее основе интерпретатор и другие инструментальные средства позволяют разрабатывать и отлаживать параллельные многопоточные программы для систем с распределенной памятью, автоматизированно выявлять коммуникационные шаблоны MPI, используя в качестве входных данных как реальную, так и модельную трассу. Разработанная модель и реализованные на ее основе инструментальные средства позволяют организовать научные исследования на новом, высоком технологическом уровне.

### **3. Основные результаты диссертационной работы**

В качестве основных результатов диссертации следует выделить:

1. Разработана интерпретируемая модель параллельной программы, позволяющая оценивать границы масштабируемости параллельных Java-программ для современных высокопроизводительных вычислительных систем с распределенной памятью, строящихся на основе многоядерных узлов (взаимодействие между процессами осуществляется посредством MPI, а внутри процесса используются Java-потoki).

2. Разработан и реализован метод интерпретации модели, обеспечивающий интерпретацию реальных параллельных приложений за приемлемое время, как на целевой вычислительной системе, так и на

инструментальном компьютере. В том числе обеспечивается учет изменений, вносимых динамическим компилятором времени выполнения.

3. Разработан метод автоматизированного обнаружения коммуникационных шаблонов MPI (на основе как реальной, так и модельной трассы), приводящих к потере производительности.

#### **4. Новизна и практическая значимость**

Для оценки новизны следует отметить, что разработанные инструментальные средства обеспечивают моделирование параллельной по данным Java-программы, учитывая характеристики современных высокопроизводительных вычислительных платформ с многоядерными узлами. Реализованные инструментальные средства интегрированы в открытую среду разработки Eclipse. В отличие от существующих аналогов, предлагаемый подход предоставляет разработчику единую среду разработки SPMD-программ, где обеспечивается полный спектр функционала разработки параллельных программ (от создания файлов с исходным кодом, ведения проектов, средства для работы с системами контроля версий, последовательного отладчика, до интерпретатора параллельных программ, инструмента по автоматизированному выявлению коммуникационных шаблонов и т.д.).

**Практическая значимость** полученных результатов подтверждается успешным применением разработанной инструментальной среды для разработки и отладки ряда сложных параллельных приложений: программа численного решения системы уравнений, моделирующей процессы и условия генерации интенсивных атмосферных вихрей (ИАВ) в трехмерной сжимаемой атмосфере, программа быстрого преобразования Фурье на 3D сетке из набора NPВ, программа расчета вязкого обтекания затупленной головной части.

**Достоверность** полученных результатов подтверждается их апробацией на семинарах, конференциях различного уровня, а также научными статьями, из которых шесть опубликованы в изданиях, входящих в перечень ВАК.

## **5. Замечания по работе**

По диссертационной работе можно сделать следующие замечания:

1. Во Введении обращает на себя внимание некоторая терминологическая небрежность. Так, утверждается, что все системы из списка Top500 являются кластерами. Из контекста можно понять, что автор считает синонимами слова «кластер» и «многопроцессорная вычислительная система», что неверно. Кластерами обычно называют системы, построенные из готовых компонентов методом системной интеграции. В этом смысле даже в первой десятке Top-500 легко обнаружить машины не кластерные, такие, как изделия фирм IBM и Fujitsu, модули которых не являются серверами общего назначения.

2. В подразделе 7.1 подробно рассматриваются довольно тонкие и совсем не очевидные особенности производительности Java-программ, но ничего не говорится о том, как они соотносятся с построенными в диссертации моделями производительности. Следовало бы либо явно отметить эти особенности как пример факторов, не учтенных в модели, либо сказать, что они в ней учтены, и как именно.

Отмеченные недостатки не снижают общего положительного впечатления от диссертации, представляющей собой законченное научное исследование, в котором автору удалось решить все поставленные задачи.

## **6. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней**

Личное участие диссертанта в разработке представленных материалов и получении научных результатов подтверждается соответствующими публикациями. Результаты диссертации представлены в семи статьях автора, докладывались на российских и международных научных конференциях. Автореферат диссертации правильно и полно отражает содержание работы и надлежащим образом оформлен.

Диссертационная работа Акопяна М.С. полностью соответствует всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а Акопян Манук Сосович

заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.11 - математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, заведующий сектором  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт  
прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук

Лацис А. О.

01 февраля 2016 г.

Подпись А. О. Лациса удостоверяю.

Ученый секретарь ИПМ им. М. В. Келдыша РАН

к.ф.-м.н.

lacis@kiam.ru

тел.: +7 499 250-79-72

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт  
прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук.

125047, Москва, Миусская пл., д.4, ИПМ им. М.В.Келдыша РАН

тел.: +7 499 978-13-14, факс: +7 499 972-07-37, e-mail: office@keldysh.ru