

ОТЗЫВ

на диссертацию **Метелицы Елены Анатольевны** на тему «**Автоматизация распараллеливания программ со сложными информационными зависимостями**», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.5 — «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей»

Актуальность темы диссертации продиктована потребностью оптимального использования ресурсов компьютера и сокращением ресурсов на разработку программ реализующих решение задач больших размерностей, таких как задачи математической физики, обработки изображений, машинного обучения, задачи областей исследования космоса, получение новых лекарств.

Структура и содержание работы

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 148 источников, приложений от «Приложения А» до «Приложения Т».

В качестве цели диссертации заявлено создание методов разработки инструментов автоматизированной оптимизации программ, включающих гнёзда циклов итерационного типа. На защиту выносятся

1. цепочка ускоряющих преобразований гнёзд циклов итерационного типа;
2. метод диалогового анализа текстов программ, основанный на символьном анализе;
3. подход к реализации преобразований гнёзд циклов: «скашивание циклов», «метод гиперплоскостей», «скошенный тайлинг» на основе универсального древовидного внутреннего представления;
4. методы обхода тайлов и определения их размеров, которые ускоряют выполнение программ.

Во введении представлен обзор литературы по исследуемой тематике, приводится перечень компиляторов и систем, ориентированных на оптимизацию программ за счёт преобразований программ и распараллеливания, обоснована актуальность работы, отмечена научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе представлена терминология, используемая в работе, в достаточном количестве.

Во второй главе описывается алгоритм оптимизации итерационных гнёзд циклов. Алгоритм состоит из этапов анализа и применения оптимизирующих преобразований, описанных в первой главе. Обосновывается эквивалентность представленного алгоритма, приводится теоретическое описание анализа конфигурации ЭВМ для автоматического определения параметров алгоритма.

В этой главе обосновывается корректность (эквивалентность) распараллеливания на основе метода гиперплоскостей, выявлены преимущества по обращениям к разным модулям памяти (включая кэш и регистры) при перестановке циклов внутри тайла. Обоснования чётко сформулированы в виде (доказанных) теоремы 1 и теоремы 2.

В третьей главе приводится оценка ускорения программ после применения алгоритма, описанного во второй главе. Численные эксперименты были проведены на программных реализациях алгоритма Гаусса-Зейделя для решения задачи Дирихле, обобщённого алгоритма Гаусса-Зейделя для решения задачи Дирихле, задачи теплопроводности. Результаты численных экспериментов сравнивались с временем выполнения программ, преобразованных с использованием оптимизирующей системой PLUTO.

Приводится большое количество численных экспериментов, демонстрирующих значительные ускорения используемых преобразований программ. Цепочка из представленных экспериментов может давать ускорение более, чем в 20 раз. Следует особенно подчеркнуть автоматизацию выполнения представленных преобразований, выполненных на основе Оптимизирующей распараллеливающей системы.

В четвёртой главе рассматривается полуавтоматический подход для анализа информационных зависимостей, на основе символического анализа. В рамках оптимизирующей распараллеливающей системы разработан прототип данного анализатора, который формирует уточняющие вопросы к пользователю для уточнения информационных зависимостей при применении преобразований программ. Приведены примеры работы реализованного инструмента для распараллеливания на архитектуры SIMD, MIMD, а также для преобразований таких как тайлинг и гнездование циклов.

Заключение содержит список основных результатов, полученных в рамках диссертационного исследования, делается вывод о решении поставленных задач, достижении цели и выносимых на защиту положений. Описана теоретическая и практическая значимость полученных результатов с рекомендациями по внедрению, в первую очередь, при разработке оптимизирующих/распараллеливающих компиляторов.

Автореферат соответствует содержанию диссертации и достаточно полно его отражает.

Научная новизна

Основными результатами диссертационной работы является реализация методов автоматической оптимизации алгоритмов итерационного типа и полуавтоматического анализа информационных зависимостей перед применением оптимизаций. **Научная**

новизна работы заключается в разработке и формализации этих подходов. **Практическая ценность** заключается в том, что представленные в диссертационной работе алгоритмы реализуемы в оптимизирующих системах и компиляторах, в частности в оптимизирующей распараллеливающей системе (ОРС).

К сильным сторонам работы можно отнести чёткие формулировки разрабатываемых преобразований программ, наличие численных экспериментов обосновывающих выдвинутые теории, что подтверждает достоверность и обоснованность результатов диссертационной работы. Так же к положительными сторонам можно отнести анализ смежных задач и вопросов, которые дополняют исследование. Например, таких как задача применения скошенного тайлинга для оптимизации программ на вычислительной системе с распределенной памятью; влияние оптимизирующих преобразований на сходимость рассматриваемых задач.

Достоверность и обоснованность

Достоверность и обоснованность результатов диссертации опирается на использование строгого математического языка для формулировок и доказательства результатов, на чёткое описание алгоритмов и скрупулёзное тестирование их программных реализаций. Особенно, следует отметить тщательный анализ информационных зависимостей для каждого используемого преобразования программ, отслеживание сохранения порядка обращений к памяти при выполнении преобразований, что обеспечивает даже сохранение погрешностей. В тех случаях, когда преобразование программы может изменить погрешность вычислений, в четвёртой главе предлагается использовать метод диалоговой оптимизации, который позволяет ускорить программу при незначительном, с точки зрения пользователя, изменении погрешности вычислений.

По диссертации можно сделать следующие замечания:

1) В диссертации преобразования программ выполняются в Оптимизирующей распараллеливающей системе. Не написано, что нужно предпринять, чтобы применить полученные результаты в популярных оптимизирующих компиляторах, таких как LLVM, GCC.

2) Хотелось бы видеть больше применения представленных алгоритмов для решения практически значимых задач.

Перечисленные замечания не влияют на общую положительную оценку работы. Научные положения, выводы и результаты, сформированные в диссертации, являются обоснованными.

Заключительные выводы

Считаю, что в диссертации представлены новые методы улучшения оптимизирующих/распараллеливающих компиляторов, которые позволят существенно ускорять генерируемый код и расширить множество ускоряемых программ - этим самым достигнута цель диссертации. Для достижения цели пришлось решить трудные задачи создания новых преобразований и доказать их эквивалентность на основе анализа сложных характеристик информационных зависимостей, включая вектор направления зависимостей и фактор-граф решетчатого графа, что демонстрирует очень высокую квалификацию диссертантки.

Работа является законченным научным исследованием и отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Метелица Елена Анатольевна, безусловно, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.5 — «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей».

Не возражаю против включения персональных данных, содержащихся в отзыве, в документы, связанные с защитой указанной диссертации, и их дальнейшей обработки.

Отзыв составил официальный оппонент

Терехов Андрей Николаевич, доктор физико-математических наук (05.13.11 Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей), профессор, заведующий кафедрой Системного программирования Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет».

Адрес: 199034, Россия, Санкт-Петербург,

Университетская набережная, д. 7–9

E-mail: andrey.terekhov@lanit-tercom.ru

Тел: +7 (911) 922-69-86

А.Н. Терехов
13.01.2025г.

Личную подпись
А.Н. Терехов
заверяю
И.О. начальника отдела кадров ИИ
И.И. Константинова
13.01.2025

Текст документа размещен
в открытом доступе
на сайте СПбГУ по адресу
<http://spbu.ru/science/expert.htm>

Документ подготовлен
в порядке исполнения
трудовых обязанностей