

УТВЕРЖДАЮ:
ректор ФИЦ ИУ РАН,
академик РАН, д.т.н.
_____ И.А. Соколов

« 12 » 04 _____ 2019 г.

М. П.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Четвериной Ольги Александровны «Повышение качества компиляции кода в режиме по умолчанию», представленную 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 современном мире вычислительная техника все глубже проникает в нашу жизнь. С каждым годом разрабатывается все больше программного кода, при этом растет и размер самих программ. В то же время акцент в программировании смещается в сторону языков высокого уровня – более простых в использовании, но более абстрагированных от аппаратных ресурсов. Для повсеместного использования аппаратных возможностей современных микропроцессоров в программах, написанных на языках высокого уровня, необходима значительная поддержка со стороны оптимизирующего компилятора. В этих условиях способность компилятора быстро и качественно планировать код в соответствии с архитектурными особенностями без дополнительной работы со стороны пользователя компилятора играет ключевую роль.

Исходя из этого, можно заключить, что тема, выбранная Четвериной О.А., является актуальной.

2. Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения.

Во **введении** обосновывается актуальность работы, ее цели, методы, научная новизна, практическая ценность, основные положения работы, перечислены апробации и публикации, указан личный вклад автора.

Первая глава диссертации является в значительной мере обзорной. В ней описаны методы, используемые для настройки компилятора с целью более точной оптимизации кода, включающие регулировку с помощью опций, профилирование, итеративные решатели и машинное обучение для настройки компиляции приложения. Автор ставит задачу попроцедурного назначения оптимизационной линейки с помощью машинного обучения и обосновывает необходимость решения подзадач: разработка методов оптимизации для режима по умолчанию, построение многокритериальной функции качества компиляции, построение набора линеек и классификация процедур по характеристикам для последующего назначения линейки.

Вторая глава посвящена анализу различий в оптимизации и в производительности кода, полученного в результате компиляции по умолчанию и при двухфазной компиляции с построением профиля программы, и разработке методов по их устранению. Во-первых, автор предлагает новый метод повышения параллелизма кода, заключающийся в раскрутке небольшой части цикла, имеющего несбалансированные ветвления. Во-вторых, предложены алгоритмы ограничения количества дополнительных вычислений и уменьшения объема подкачиваемой памяти для реализации механизмов заброса чтений и подкачки данных, эффективных в режиме по умолчанию.

В **третьей главе** автор решает задачу построения функции качества, учитывающей несколько характеристик компиляции, для дальнейшего использования в задаче машинного обучения. С этой целью требования к компиляции с точки зрения пользователя и обучающих моделей формализованы в виде свойств функций. В работе доказано, что требуемое свойство сохранения порядка значений функций при растяжении координат позволяет получить точное представление функции двух переменных. Ее использование позволяет вывести параметризованную формулу для оценки качества для одновременного учета времени исполнения и времени компиляции. Кроме того, доказана лемма о Парето-минимумах, достижимых как минимумы построенного множества функций.

В **четвертой главе** рассматривается задача машинного обучения компилятора. Полученная формулировка задачи обучения с использованием в качестве функции ошибки классификации отличие значения функционала качества от возможного минимума, определена как минимизирующая классификация. В работе показано ее отличие от обычной задачи обучения с учителем и приведены разработанные автором алгоритмы ее решения.

Применение предложенных методов и их эффективность проиллюстрированы на

стандартизированных эталонных пакетах тестов SPEC, разработанных для оценки производительности вычислительных машин.

В заключении формулируются выносимые на защиту результаты диссертации.

3. Основные научные результаты и их научная новизна и практическая значимость

Новизну, научную и практическую значимость диссертации составляют следующие положения:

1. Применен единый функционал для попроцедурной многокритериальной оценки качества компиляции.
2. Доказаны утверждения о соответствии точек на границе Парето-минимумам функционала и о представлении функций, сохраняющих порядок при растяжениях.
3. Доказано утверждение о представлении функционала качества компиляции для одновременного учета времени исполнения и времени компиляции.
4. Введено определение задачи минимизирующей классификации с заданной функцией потери. Предложены алгоритмы ее решения и доказаны теоремы об их сходимости.
5. Предложены методы оптимизации циклов посредством раскрутки части их путей и доказаны теоремы, позволяющие оценить их эффективность. Предложены методы выбора адресов данных для подкачки нерегулярных чтений структур и заброса чтений при конвейеризации с ограничением планируемого времени исполнения цикла.

Каждая глава диссертации заканчивается подробными промежуточными выводами.

Достоверность выполненных автором исследований подтверждается результатами экспериментов, их апробацией на научных конференциях и в открытой печати. Публикации автора в количестве 10 статей, научных сообщений и тезисов докладов в материалах международных и всероссийских конференций, а также 1 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ в достаточной мере отражают основное содержание диссертации, научную новизну и практическую значимость полученных результатов.

Все положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертационной работе, являются вполне обоснованными с научной точки зрения.

Содержание автореферата полностью отражает основные положения диссертации.

4. Рекомендации об использовании результатов диссертационного исследования

Практическая ценность работы не вызывает сомнений, поскольку все предложенные алгоритмы и методы внедрены в оптимизирующий компилятор для микропроцессоров «Эльбрус» и Sparc V9. Основным достоинством диссертационной работы является стремление автора к фундаментальному и разностороннему взгляду на решаемые задачи. Предложенные автором методы могут с успехом применяться для разработки различных компиляторов, в особенности, со статическим планированием кода. Предложенный подход минимизирующей классификации может быть использован при решении различных задач машинного обучения со сложной функцией оценки качества.

5. Общие замечания по работе

В качестве недостатков отмечаем, что экспериментальные результаты применения методов 3-ей и 4-ой главы приведены только для компилятора архитектуры «Эльбрус», в то время как описаны как универсальные. Кроме того, непонятно, с какой скоростью будет сходиться к минимуму значение функционала при использовании алгоритмов 2 и 3 четвертой главы. При некоторых входных обучающих данных возможен случай, когда время работы предложенных алгоритмов станет слишком большим для применения.

Указанные недостатки, тем не менее, не снижают научной и практической ценности диссертации и не портят положительного впечатления от нее в целом. В целом диссертация выполнена на хорошем уровне, написана грамотным техническим языком, хорошо проиллюстрирована большим количеством рисунков и таблиц.

Заключение

Диссертация Четвериной Ольги Александровны является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержатся решения ряда актуальных задач, имеющих значение для области разработки оптимизирующих компиляторов.

Диссертация соответствует специальности 05.13.11 — «математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей», в частности пунктам 1, 8 и 10 перечня областей исследования.

Автореферат диссертации соответствует ее содержанию. Основные результаты работы доложены на научно-технических конференциях и опубликованы в 10 печатных работах, 6 из них — в журналах из списка ВАК. Кроме того, получено свидетельство о государственной

регистрации программы для ЭВМ.

В целом по актуальности, научной новизне и значимости полученных результатов диссертация отвечает критериям Положения о присуждении ученых степеней (утв. Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842), в том числе п. 9, а ее автор, Четверина Ольга Александровна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.11 — «математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей».

Отзыв подготовлен зав. отделением 9 Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской Академии Наук», доктором технических наук (05.13.18 - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ), членом-корреспондентом Российской академии наук, профессором Владимиром Львовичем Арлазаровым (117312, Москва, проспект 60-летия Октября, 9, тел. раб. +7(499)1355357, эл. почта: arl@isa.ru).

Отзыв на диссертацию и автореферат рассмотрен и обсужден на заседании семинара отделения 9 ФИЦ ИУ РАН (Протокол № 3 от 04.03.2019).

зав. отделением 9 Федерального
государственного учреждения
«Федеральный исследовательский центр
«Информатика и управление» Российской
Академии Наук», доктор технических наук,
член.-корр. РАН, проф.

В.Л. Арлазаров

« 10 » апреля 2019 г.