

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.298.18, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФГАОУ ВО «ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ)» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 31 марта 2021 г. № 1

О присуждении Гарееву Роману Альбертовичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Методы оптимизации выполнения тензорных операций на многоядерных процессорах» по специальности 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей принята к защите 27.01.2021 г. (протокол заседания № 1/п) диссертационным советом Д 212.298.18, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», Министерство науки и высшего образования РФ, 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, № 105/нк от 11 апреля 2012 г.

Соискатель Гареев Роман Альбертович, 1991 года рождения, в 2015 г. соискатель окончил федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина» по направлению «Математика и компьютерные науки». В 2019 году освоил программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина». Работает в «ИП Гареев Роман Альбертович» в должности индивидуального предпринимателя (ОГРНИП 317665800093786 от 24 мая 2017 г.).

Диссертация выполнена на кафедре информационных технологий и систем управления Института радиоэлектроники и информационных технологий-РТФ федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Министерство науки и высшего образования РФ.

Научный руководитель – Акимова Елена Николаевна, доктор физико-математических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Отдела некорректных задач анализа и приложений федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт математики и механики имени Н.Н. Красовского Уральского отделения Российской академии наук», г. Екатеринбург.

Официальные оппоненты:

Соколов Андрей Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр Российской академии наук», г. Петрозаводск;

Черных Игорь Геннадьевич, кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией суперкомпьютерного моделирования федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук», г. Новосибирск

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», г. Нижний Новгород, в своем положительном отзыве, подписанном Гергелем Виктором Павловичем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой программной инженерии и Мееровым Иосифом Борисовичем, кандидатом технических наук, доцентом, заместителем заведующего кафедрой математического обеспечения и суперкомпьютерных технологий,

указала, что диссертационная работа Р.А. Гареева является завершенным научным исследованием, содержащим решения задач автоматического распараллеливания и сокращения времени выполнения тензорных операций на многоядерных процессорах, имеющих существенное значение для развития области создания программ и программных систем для параллельной обработки данных. Работа в полной мере отвечает требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей.

Соискатель имеет 7 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 7 научных работ, из них в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК опубликовано 2 работы, в изданиях, индексируемых в Web of Science – 2 работы, в изданиях, индексируемых в Scopus – 2 работы:

1. Гареев Р.А. Сравнение средств генерации абстрактного синтаксического дерева из полиэдральной модели в библиотеках CLooG и ISL // Труды 46-й Международной молодежной школы-конференции “Современные проблемы математики и ее приложений – 2015”. Институт математики и механики УрО РАН им. Н.Н. Красовского, 2015. С. 200-202.

2. Akimova E.N., Gareev R.A. Algorithm of Automatic Parallelization of Generalized Matrix Multiplication // Proceedings of the 2nd International Workshop on Radio Electronics & Information Technologies (Ekaterinburg, November 15, 2017). CEUR Workshop Proceedings. 2017. Vol. 2005. P. 1-10.

3. Gareev R., Grosser T., Kruse M. High-Performance Generalized Tensor Operations: A Compiler-Oriented Approach // ACM Transactions on Architecture and Code Optimization (TACO). 2018. Vol. 15, no. 3. P. 34:1-34:27. DOI: 10.1145/3235029.

4. Akimova E.N., Gareev R.A., Misilov V.E. Analytical Modeling of Matrix-Vector Multiplication on Multicore Processors: Solving Inverse Gravimetry Problem // (SIBIRCON): 2019 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (Novosibirsk, Russia, October 25-27, 2019). Boston,

Massachusetts, USA, IEEE Xplore Digital Library, 2019. P. 0823-0827. DOI: 10.1109/SIBIRCON48586.2019.8958103.

5. Акимова Е.Н., Гареев Р.А. Аналитическое моделирование матрично-векторного произведения на многоядерных процессорах // Вестник ЮУрГУ. Серия: Вычислительная математика и информатика. 2020. Т. 9, № 1. С. 69-82. DOI: 10.14529/cmse200105.

6. Гареев Р.А. Методы оптимизации обобщенных тензорных свертков // Вестник ЮУрГУ. Серия: Вычислительная математика и информатика. 2020. Т. 9, № 2. С. 19-39. DOI: 10.14529/cmse200202.

7. Gareev R.A., Akimova E.N. Analytical Modeling of Matrix–Vector Multiplication on Multicore Processors // Mathematical Methods in the Applied Sciences. 2021. P. 1-31. DOI: 10.1002/mma.7045.

Все результаты, представленные в данной работе, получены автором лично. Содержание диссертации и основные положения, выносимые на защиту, отражают персональный вклад автора в опубликованные работы. В работах [2, 4, 5, 7] научному руководителю Е.Н. Акимовой принадлежит постановка задачи, Р.А. Гарееву принадлежат все полученные результаты. В работе [4] Р.А. Гарееву принадлежат разделы 1, 2, 4, 5 (введение, описание метода автоматической оптимизации матрично-векторного произведения, описание результатов экспериментов, заключение, стр. 1–5), В.Е. Мисилу принадлежит раздел 3 (описание алгоритма решения обратной задачи гравиметрии, стр. 3–4). В работе [3] Р.А. Гарееву принадлежат разделы 1, 3, 4.1–4.3, 4.5, 4.6, 5–7 (введение, определение ТС-подобного ядра и алгоритм его автоматической оптимизации, определение расширения модели целевой архитектуры процессора Лоу, описание результатов экспериментов, обзор работ, заключение, стр. 34:1–34:27), Т. Гроссару (Tobias Grosser) принадлежит раздел 2 (описание полиэдрального представления программы, стр. 34:3–34:4), М. Крузу (Michael Kruse) принадлежит раздел 4.4 (инфраструктура для модификации функций доступа к памяти полиэдрального представления программы, стр. 34:11).

На диссертацию и автореферат поступили положительные отзывы от нижеперечисленных ученых.

1. Янакова Е.С., доктор технических наук, Акционерное общество Научно-производственный центр «Электронные вычислительно-информационные системы», ведущий научный сотрудник.

Замечание: расширение модели целевой архитектуры процессора Лоу неприменимо для стековых процессоров, у которых отсутствуют регистры.

2. Гагарина Л.Г., доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», директор института системной и программной инженерии и информационных технологий.

Замечание: выведенные формулы для случая обобщенного матричного произведения неприменимы, если ассоциативность кэш-памяти первого уровня равна двум.

3. Мартышко П.С., доктор физико-математических наук, профессор, член-корр. РАН, федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича Уральского отделения Российской академии наук», заведующий лабораторией математической геофизики.

4. Эпов М.И., доктор технических наук, академик РАН, главный научный сотрудник; Глинских В.Н., доктор физико-математических наук, член-корр. РАН, заведующий лабораторией, федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук».

Замечание: не освещается вопрос о применимости разработанных соискателем подходов для работы с тензорами малой размерности.

5. Григоревский И.Н., кандидат технических наук, Исследовательский центр системного анализа федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт программных систем им. А.К. Айламазяна Российской академии наук», старший научный сотрудник.

Замечание: на Рис. 2 указано, что инфраструктура для полиэдральных оптимизаций выполняет распознавание и определение значений параметров сверток тензоров, а не ТС-подобных ядер.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается широкой известностью их научных достижений в областях высокопроизводительных вычислений и параллельного программирования. В ведущей организации действует научная школа в области автоматического распараллеливания и оптимизации программ.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **предложено** расширение модели Лоу целевой архитектуры процессора, которое обеспечивает сокращение времени выполнения матрично-векторных операций и их обобщений;
- **разработаны** новые алгоритмы выполнения тензорных операций константной сложности относительно размерности тензоров, уменьшающие время выполнения таких операций;
- **разработана** новая программная система автоматической оптимизации тензорных операций для автоматической оптимизации времени выполнения тензорных операций и их автоматического распараллеливания при компиляции программ для многоядерных процессоров общего назначения.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- **проведена модернизация** модели Лоу целевой архитектуры процессора для сокращения времени выполнения матрично-векторных операций и их обобщений на замкнутые полукольца;
- **доказаны** утверждения о существовании значений параметров, при которых отсутствует простой конвейера векторных инструкций расширения модели целевой архитектуры процессора для представленных алгоритмов;
- **изложены** новые результаты, позволяющие получить значения параметров алгоритмов выполнения тензорных операций в зависимости от характеристик многоядерных процессоров общего назначения;

- **разработаны** оригинальные алгоритмы выполнения тензорных операций константной сложности относительно размерности тензоров для сокращения времени выполнения таких операций;
- **раскрыт** метод моделирования выполнения тензорных операций на модели целевой архитектуры процессора с целью сокращения времени выполнения матрично-векторных операций и решений общей задачи о путях;
- **изучена** связь методов сокращения времени выполнения тензорных операций, основанных на ручной настройке и автонастройке, с методами, использующими модель целевой архитектуры процессоров с целью применения в условиях ограниченного времени и недоступности целевой аппаратной платформы.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- **создана** программная система автоматической оптимизации тензорных операций, позволяющая автоматически оптимизировать время выполнения тензорных операций и осуществить их автоматическое распараллеливание в процессе компиляции программ для многоядерных процессоров общего назначения;
- **разработана и внедрена** в основной код программной системы Polly проекта Low Level Virtual Machine оптимизация матричного произведения, обобщенного на замкнутые полукольца;
- **определены** возможности использования созданной программной системы автоматической оптимизации тензорных операций для реализации численных решений задач механики, математической физики и математической геофизики на многоядерных процессорах общего назначения.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- **идея базируется** на критическом анализе научных публикаций по теме исследования в высокорейтинговых отечественных и зарубежных журналах;

- **достоверность** полученных результатов подтверждена большим количеством вычислительных экспериментов, проведенных для различных целевых архитектур процессоров;
- **использованы** современные методики проведения экспериментов и анализа их результатов, гарантирующие воспроизводимость экспериментальных результатов;
- **теория** построена на известных и экспериментально подтвержденных фактах о принципах работы процессоров общего назначения;
- **установлено** совпадение отдельных результатов исследования с результатами, представленными в научной литературе, в частности в отношении производительности реализаций матричного произведения, полученных с помощью моделирования выполнения алгоритмов на модели целевой архитектуры процессора общего назначения.

Личный вклад соискателя состоит в том, что **соискателем единолично разработано:**

- расширение модели Лоу целевой архитектуры процессора, которое обеспечивает сокращение времени выполнения матрично-векторных операций и их обобщений;
- новые алгоритмы выполнения тензорных операций, уменьшающие время выполнения таких операций;
- новая программная система автоматической оптимизации тензорных операций для автоматической оптимизации времени выполнения тензорных операций и их автоматического распараллеливания при компиляции программ для многоядерных процессоров общего назначения.

На заседании 31 марта 2021 г. диссертационный совет принял решение присудить Гарееву Р.А. ученую степень кандидата физико-математических наук по научной специальности 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей.

На заседании 31 марта 2021 г. диссертационный совет принял решение присудить Гарееву Р.А. ученую степень кандидата физико-математических наук по научной специальности 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей.

При проведении открытого голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 8 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, в удаленном интерактивном режиме участвовало 5 человек, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 14, против – 0, воздержалось – 0.

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета

31 марта 2021г.



Л.Б. Соколинский

М.Л. Цымблер