

Отзыв научного руководителя

на диссертацию

Рустама Шухратулловича Азимова

"Решение задач поиска путей в графе с заданными контекстно-свободными ограничениями с использованием методов линейной алгебры"

представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.5 — математическое и программное обеспечение систем, комплексов и компьютерных сетей

Задачи, связанные с анализом графов, известны давно и со временем, с одной стороны, увеличивается размер графов (количество вершин, рёбер), подвергаемых обработке, с другой — возникают всё более сложные задачи, требующие разработки новых алгоритмов, а часто и поиска новых теоретических конструкций. Один из классических видов задач анализа графов — задачи, связанные с выявлением связей между вершинами: задачи о достижимости, о поиске путей. При этом на искомые связи часто накладывают различные ограничения: путь должен быть простым, кратчайшим, содержать или не содержать определённые рёбра или вершины и т.д. Один из возможных способов задавать такого рода ограничения при работе с графиками, рёбра которых содержат некоторые метки — это использовать формальные языки. Путь задаёт слово, состоящее из меток вдоль него, тогда в качестве ограничения естественно использовать язык, которому должны принадлежать такие слова, чтобы путь считался правильным, подходящим под критерии поиска. Такой способ задавать ограничения нашёл широкое применение на практике: использование регулярных языков в качестве ограничений стало неотъемлемой частью многих графовых баз данных. Использование других классов языков хотя и находит применение для решения прикладных задач, является менее изученной областью. Так, хотя использование контекстно-свободных языков находит применение при статическом анализе кода, позволяет выразить такой важный класс запросов, как поиск сущностей, лежащих на одном уровне иерархии, алгоритмы для поиска путей с такими ограничениями исследованы слабо: сравнительно недавнее исследование показало, что существующие алгоритмы не справляются с существующими объёмами данных и потому неприменимы для решения практических задач.

Один из способов повысить производительность анализа данных — найти параллельные алгоритмы для решения соответствующих задач, что особенно актуально в современном мире, где всё чаще используются многоядерные системы, специализированные ускорители (например графические ускорители, GPGPU). Для задач поиска путей с контекстно-свободными ограничениями таких алгоритмов предъявлено не было и их поиску и была посвящена диссертация Рустама Шухратулловича. Поиск увенчался успехом, что выражается в получении Рустамом Шухратулловичем перечисленных ниже результатов.

1. Предложен новый подход к построению, изучению и реализации алгоритмов поиска путей с ограничениями в виде контекстно-свободных языков, основанных на операциях линейной алгебры.
2. Разработан алгоритм поиска путей с контекстно-свободными ограничениями, основанный на транзитивном замыкании, выраженном через умножение

матриц, получена теоретическая оценка сложности алгоритма, доказана его корректность. Показано, что разработанный алгоритм может решать задачи достижимости, поиска одного пути, поиска всех путей.

3. Разработан алгоритм поиска путей с контекстно-свободными ограничениями, основанный на произведении Кронекера и не требующий преобразования грамматики, описывающей язык, получена теоретическая оценка сложности алгоритма, доказана его корректность. Показано, что данный алгоритм решает задачу поиска всех путей и, как следствие, и частные задачи достижимости и поиска одного пути.
4. Разработанные алгоритмы реализованы с использованием современных средств параллельного программирования для многоядерных процессоров и графических ускорителей.
5. Проведено сравнение реализованных алгоритмов между собой и с аналогичными решениями. Анализ результатов показал, что предложенный подход позволяет получить решения для ряда задач на три порядка более производительные, чем существующие аналоги.

Исследование выполнено на высоком уровне и содержит как теоретические результаты (алгоритмы, доказательства их свойств), так и прикладные (реализация алгоритмов). Оно объединяет в себе такие области, как теорию графов, теорию формальных языков, линейную алгебру, параллельные алгоритмы, что показывает высокий уровень подготовки соискателя. Тематика исследования актуальна с точки зрения международного научного сообщества, а его результаты востребованы: они неоднократно обсуждались на международный тематических конференциях и семинарах, таких как Joint Workshop on Graph Data Management Experiences & Systems (GRADES) and Network Data Analytics (NDA) (GRADES-NDA, семинар при конференции SIGMOD), European Conference on Advances in Databases and Information Systems (ADBIS), семинар для обсуждения исследований аспирантов при конференции VLDB.

Считаю, что представленная диссертация является законченной научно-исследовательской работой, тематика и полученные результаты которой полностью соответствуют специальности 2.3.5 "Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей". Работа соответствует требованиям о порядке присуждения учёных степеней, обладает как теоретической, так и практической ценностью, а её автор, Рустам Шухратуллович Азимов, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.5.

Кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры информатики
Санкт-Петербургского Университета,
кандидатская диссертация защищена по специальности 05.13.11,
согласен на обработку персональных данных

