

Отзыв
официального оппонента
ЗАБОРОВСКОГО ВЛАДИМИРА СЕРГЕЕВИЧА

на диссертацию Чекиной Марии Дмитриевны «Методы и средства обработки фракталов на реконфигурируемых вычислительных системах», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.5 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей»

1. Актуальность темы выполненного исследования

Фрактальные алгоритмы применяются для обработки химических и биологических процессов, для анализа экономических процессов, для генерации и преобразовании изображений. В геофизике, медицине, метеорологии фракталы показывают себя более эффективным инструментом, чем методы, оперирующие инструментами классической геометрии. Однако для задач фрактальной обработки характерна преобразование больших объемов данных и высокая информационная связность задач.

Основным способом ускорения фрактальных вычислений является распараллеливание задачи и решение ее на многопроцессорной вычислительной системе (МВС). Для МВС на базе универсальных процессоров с увеличением количества задействованных вычислительных узлов значительно возрастает время обмена данными между компонентами системы. Графические ускорители, несмотря на высокие пиковые показатели быстродействия, не могут функционировать как самостоятельные устройства. Общей проблемой для универсальных процессоров и систем с графическими ускорителями является «стена памяти» – быстродействие блоков памяти растет значительно медленнее, чем быстродействие вычислительных узлов, что при постоянных обращениях к памяти снижает реальную производительность всей системы.

В отличие от многопроцессорных систем классической архитектуры при реализации задач на вычислительных полях реконфигурируемых вычислительных систем (РВС) на базе ПЛИС можно избежать проблемы межпроцессорных обменов за счет создания пространственных коммутаций между вычислительными блоками. Это позволяет добиться близкого к линейному росту производительности при увеличении вычислительного ресурса.

В диссертации Чекиной М.Д. рассматриваются методы и средства для решения задач обработки фракталов на реконфигурируемых вычислительных системах (РВС). Автором предложены принципы организации эффективной обработки фрактальных структур на РВС, согласно которым были созданы методы синтеза вычислительных структур для решения задач фрактального

сжатия и декомпрессии изображений, а также задачи распространения газа во фрактальной среде.

2. Научная новизна полученных результатов.

Автором получен ряд значимых результатов, которые позволяют повысить реальную производительность РВС. К наиболее существенным результатам следует отнести:

1) метод решения на РВС параллельно-конвейерным способом задачи фрактального сжатия изображений, отличающийся от известных побитовой обработкой данных и сортировкой структур, содержащих выходные данные, по номеру рангового блока;

2) метод решения на РВС параллельно-конвейерным способом задачи декомпрессии сжатых изображений, отличающийся от известных использованием одинарной косвенной адресации памяти, содержащей доменные блоки;

3) метод синтеза вычислительной структуры для решения на РВС задачи распространения газа во фрактальной среде, отличающийся от известных возможностью оптимизации вычислительной структуры для конкретной СЛАУ на основе оценки ее параметров и использованием подобных вычислительных подграфов в конвейере.

3. Теоретическая и практическая ценность результатов работы

Вклад автора в науку заключается в том, что впервые была решена задача создания эффективных параллельно-конвейерных программ для решения задач фрактального типа на реконфигурируемых вычислительных системах. Автором были сформулированы принципы организации эффективной обработки фрактальных структур на РВС, и показано, что при решении задач согласно этим принципам обеспечивается близкий к линейному рост реальной производительности при увеличении вычислительных ресурсов системы.

С помощью данных принципов автором были созданы методы решения задач фрактального сжатия и декомпрессии изображений и задачи распространения газа во фрактальной среде. Применение разработанных методов позволило:

1. Разработать программные средства на языке программирования COLAMO для фрактального сжатия изображений, которые обеспечивают ускорение в 15000 раз при выполнении на РВС по сравнению с аналогичной реализацией для многоядерных универсальных процессоров последних поколений, и повысить реальную производительность в 10-40 раз по сравнению с существующими реализациями для ПЛИС;

2. Разработать программные средства на языке программирования COLAMO для декомпрессии изображения, сжатого фрактальным способом, которые обеспечивают ускорение в 300 на PBC по сравнению с аналогичной реализацией для многоядерных универсальных процессоров последних поколений;

3. Разработать программные средства на языке программирования COLAMO для решения задачи распространения газа во фрактальной среде, которые позволяют повысить реальную производительность PBC на 40% по сравнению с известными способами решения этой задачи.

4. Степень обоснованности научных положений, выводов, рекомендаций и их достоверность

Научные положения, выводы и рекомендации, представленные автором, базируются на корректном применении методов структурной организации вычислений, методов решения систем линейных алгебраических уравнений, методов линейной алгебры. Достоверность полученных автором практических результатов подтверждается рядом машинных экспериментов на PBC.

Результаты диссертации подтверждены актами о внедрениях в ряде организаций: ООО «НИЦ СЭ и НК» (г. Таганрог) и кафедры ИМС ИКТИБ ЮФУ (г. Таганрог).

Основные положения и результаты диссертации докладывались и обсуждались на российских и международных научно-технических конференциях, где автор выступал с докладами по данной проблематике и получил положительный отзыв научной общественности. Также автором получены три свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ.

5. Оценка содержания диссертации

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованных источников и трех приложений. В автореферате диссертации приведена информация о выполненных исследованиях, отражены основные полученные результаты, а также представлен список основных научных работ автора по теме исследования. В качестве иллюстрационного материала в диссертации присутствует достаточно рисунков и таблиц.

Во введении автор обосновал актуальность темы, сформулировал цель и задачи исследования, научную новизну и практическую ценность,

основные научные положения, выносимые на защиту, а также привел краткое содержание глав.

В первой главе автором выполнен анализ применения фракталов в различных предметных областях; существующих вычислительных средств традиционной архитектуры, построенных на базе CPU и GPU; специальных вычислительных средств, построенных на базе ПЛИС.

Автором показано, что существующие реализации фрактальных алгоритмов для многопроцессорных вычислительных систем, построенных на основе графических ускорителей или универсальных процессоров, достигают меньшей производительности, чем реализации для устройств на основе ПЛИС.

Автором выполнен анализ структур данных, используемых для обработки фракталов в классических вычислительных системах, и в качестве основного недостатка данных структур выделено требование динамического выделения оперативной памяти устройства.

Автором было показано, что РВС применяются для решения широкого круга задач и удовлетворяют требованиям к производительности вычислительно-трудоемких задач, однако существующие средства создания параллельных программ для РВС не позволяют реализовать эффективную вычислительную структуру для задач фрактального типа.

Во второй главе автором предложен метод создания масштабируемых вычислительных структур для фрактального сжатия и декомпрессии изображений. Автор описывает параллельные и последовательные реализации операций, выполняемых над изображением при его сжатии и декомпрессии, и выделяет базовый подграф алгоритма для дальнейшего распараллеливания по слоям и итерациям.

Для хранения результатов работы алгоритма автор вводит специальную структуру данных, позволяющую поставить в соответствие коэффициенты системы итерируемых функций и номера ранговых и доменных блоков, на которые было разбито исходное изображение. Для удобства проведения восстановления сжатого изображения упомянутая выше структура данных модифицируется, исключая из ячейки хранения номер рангового блока за счет сортировки данных. Такой подход позволяет перейти от двойной косвенной адресации памяти к одинарной и увеличивает возможности распараллеливания декомпрессии изображения по данным.

Автор рассматривает как случай покрытия изображения равномерными сетками ранговых и доменных блоков, так и возможность адаптивного разбиения. Во втором случае возникает неравномерный поток данных, поступающих в вычислительную структуру, автор показывает как изменится производительность при переменной подаче данных.

Автором теоретически доказано увеличение реальной производительности при решении задачи фрактального сжатия изображения

параллельно-конвейерным способом при увеличении количества вычислительного ресурса.

Далее автор описывает особенности практической реализации фрактального сжатия изображений на реконфигурируемом компьютере Терциус-2. При этом автором показано, как исходя из параметров имеющейся РВС таких как количество доступного вычислительного ресурса и количество каналов для подачи и выгрузки данных определить параметры вычислительной схемы. Для увеличения количества используемых каналов подачи данных автором предложено произвести редукцию по разрядности входных данных, и подавать каждый элемент массива побитово. Такой способ позволяет осуществлять подачу одновременно 256 потоков данных в соответствующее количество параллельно работающих вычислительных слоев.

Автором выполнено сравнение производительности полученных реализаций фрактального сжатия и декомпрессии изображений с существующими решениями. При этом задача фрактального сжатия изображений показывает ускорение в 15000 раз по сравнению с реализацией для многоядерного универсального процессора и в 10-40 раз по сравнению с реализациями для ПЛИС. Задача декомпрессии изображения показывает ускорение более чем в 50 раз по сравнению с реализацией для универсального многоядерного процессора.

В третьей главе автор описывает задачи математической физики, для которых характерно использование дробных операторов дифференцирования, применяемых для описания процессов распространения жидкостей и газов в фрактальных средах. Автором показано, что СЛАУ, полученная в результате дискретизации математической модели, описывающей процесс распространения газа в фрактальной среде, на адаптивных сетках, будет иметь нерегулярное заполнение ненулевыми элементами. В таком случае стандартные подходы к решению СЛАУ на РВС не дают возможности достичь высокой реальной производительности.

Автор описывает способ оценки оптимального количества каналов подачи данных в вычислительном слое, исходя из параметров загружаемой СЛАУ – математического ожидания и среднеквадратичного отклонения количества значащих элементов в строке матрицы. При использовании описанного способа определения количества каналов увеличивается коэффициент использования оборудования и уменьшаются простои вычислительной схемы. Производительность полученных таким способом вычислительных структур сравнивается автором с уже существующими способами создания вычислительных структур для подобных задач. Автор описывает два основных существующих подхода – реализацию максимально возможного графа задачи при достаточном вычислительном ресурсе и

реализацию минимального базового подграфа в противном случае. При сравнении предложенная автором реализация показывает увеличение реальной производительности на 40% по сравнению с существующими решениями для РВС.

Автор предлагает способ дополнительно увеличить производительность вычислительной структуры посредством предварительной перестановки строк решаемой СЛАУ. При перестановке строк матрицы на входе в вычислительную структуру с учетом количества ненулевых элементов и загруженности текущего вычислительного слоя можно получить ускорение еще на 5-7%.

В заключении автор формулирует основные результаты диссертации и указывает перспективы дальнейшей разработки темы. Материалы диссертации и автореферата не содержат смысловых противоречий и отвечают нормам представления научных текстов. Содержание диссертации соответствует п. 8 («Модели и методы создания программ и программных систем для параллельной и распределенной обработки данных, языки и инструментальные средства параллельного программирования») паспорта специальности 2.3.5 «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей».

6. Замечания по диссертации

1. В первой главе автор проводит анализ перспектив использования многопроцессорных вычислительных систем на базе универсальных процессоров и графических ускорителей для решения задач фрактального типа, на примере задачи фрактального сжатия изображений. Целесообразно было бы показать эффективность работы МВС на примерах других задач.

2. Во второй главе автором не доказано, что использование одинарной косвенной адресации является лучшим вариантом оптимизации вычислительной структуры задачи декомпрессии изображения.

3. В третьей главе автор рассматривает решение задачи распространения газа во фрактальной среде на РВС, но не обосновывает выбор метода Якоби для решения СЛАУ, а также не рассматривает альтернативные методы решения.

7. Заключение

Указанные замечания носят частный характер и не снижают научной ценности диссертационной работы. Диссертация Чекиной Марии Дмитриевны представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой получены важные научные и практические результаты.

Содержание диссертации соответствует требованиям паспорта специальности 2.3.5 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей».

Диссертация Чекиной Марии Дмитриевны «Методы и средства обработки фракталов на реконфигурируемых вычислительных системах» является завершенной научно-квалификационной работой, которая посвящена решению актуальной научно-технической задачи, и удовлетворяет всем квалификационным требованиям, установленным в разделе 2 положения «О присуждении ученых степеней в ЮФУ» в редакции от 30.11.2021 г. (приказ №260-ОД) предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор – Чекина Мария Дмитриевна – заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.5 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей».

Официальный оппонент:

Профессор Института компьютерных наук
и технологий ФГАОУ ВО
«Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого»,
доктор техн. наук, профессор

Владимир Сергеевич Заборовский

«15» августа 2023г.

194064, 3-й учебный корпус,
ул. Политехническая, дом 29В,
г. Санкт-Петербург
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский
политехнический университет
Петра Великого»,

<https://www.spbstu.ru>

+7 (812) 297-16-28

Институт компьютерных наук и технологий

+7 (911) 842 45 06

e-mail: vladimir.zaborovsky@spbstu.ru

Согласен на обработку персональных данных.



В.С. Заборовский

Подпись д.т.н., профессора Заборовского В.С. удостоверяю