

Отзыв
официального оппонента
ВАТУТИНА ЭДУАРДА ИГОРЕВИЧА

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

В отличие от регулярных геометрических фигур для фракталов увеличение масштаба не ведет к упрощению структуры, поскольку фракталы являются объектами, в точности или в достаточно большой степени совпадающими с частью самих себя. Фракталы имеют множество областей приложения от моделирования природных объектов до анализа финансовых рынков и обработки изображений. При распараллеливании обработки фракталов требуется выполнять многочисленные обмены данными между параллельно выполняемыми процессами на вычислительных узлах. Такая организация вычислений характерна для вычислительных систем, имеющих в своей основе CPU или GPU, и приводит к возникновению простоев оборудования. Кроме того, скорость работы шины обмена данными намного ниже производительности вычислительных узлов, что само по себе замедляет вычисления при необходимости большого обмена данными (т.н. проблема «бутылочного горла»).

В отличие от многопроцессорных систем классической архитектуры реконфигурируемые вычислительные системы (РВС) на основе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) используют структурную парадигму вычислений, что позволяет успешно решить проблему «бутылочного горла». Программирование РВС, объединяющих множество ПЛИС в единое вычислительное поле, представляет собой, главным образом, выстраивание пространственной коммутации между вычислительными блоками. Благодаря своим свойствам ПЛИС являются перспективной основой для создания высокопроизводительных вычислительных систем.

В диссертации Чекиной М.Д. рассматриваются методы и средства для решения задач фрактального типа на реконфигурируемых вычислительных системах (РВС). Автором предложены принципы организации эффективной обработки фрактальных структур на РВС, согласно которым были решены задачи фрактального сжатия и декомпрессии изображений, а также задача распространения газа во фрактальной среде.

2. Научная новизна полученных результатов

Автором получен ряд значимых результатов, которые имеют существенное значение для повышения реальной производительности 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 и обоснованном 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 автор проводит обширный анализ применения фракталов в различных областях, включая математику, физику и медицину

Автор также рассматривает существующие вычислительные средства традиционной архитектуры, построенные на базе CPU и GPU, и специальные вычислительные средства, построенные на базе ПЛИС.

В ходе своего исследования автор показывает, 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. Это означает, что использование специальных вычислительных средств на базе ПЛИС может быть более эффективным в решении задач, связанных с фракталами.

Кроме того, автор проводит анализ структур данных, используемых для обработки фракталов в классических вычислительных системах, и выделяет требование динамического выделения оперативной памяти устройства как основной недостаток данных структур.

Автор показывает, что реконфигурируемые вычислительные системы (PBC) применяются для решения широкого круга задач и удовлетворяют требованиям к производительности вычислительно трудных задач. Однако существующие средства создания параллельных программ для PBC не позволяют реализовать эффективную вычислительную структуру для задач фрактального типа. Это может быть вызвано недостатком специализированных алгоритмов и инструментов для PBC, которые могут быть использованы для оптимизации вычислительных процессов, связанных с фрактальными задачами.

В целом, результаты исследования, проведенного автором в первой главе, показывают, что использование специализированных вычислительных средств на базе ПЛИС может быть более эффективным для решения задач, связанных с фракталами, чем традиционные вычислительные системы на базе CPU и GPU. Кроме того, автор подчеркивает необходимость дальнейших исследований и разработок в области параллельных вычислений с целью повышения производительности распределенных вычислительных систем при работе с фрактальными задачами.

Во второй главе автор предлагает метод создания масштабируемых вычислительных структур для фрактального сжатия и декомпрессии изображений. Автор выделяет базовый подграф для этих задач с целью дальнейшего распараллеливания по слоям и итерациям. Для хранения результатов работы алгоритма автор предлагает упаковывать в одну ячейку массива коэффициенты системы итерируемых функций и номера ранговых и доменных блоков, на которые было разбито исходное изображение, таким образом, получая специальную структуру для хранения данных. В последствии структура данных модифицируется: из ячейки хранения исключается 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 различные случаи покрытия изображения сетками **ранговых** и **доменных** блоков – равномерное и адаптивное разбиения. В случае использования адаптивного разбиения возникает неравномерный поток данных, поступающих в вычислительную структуру. Автор описывает изменения производительности 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 во второй главе автор описывает особенности практической реализации фрактального сжатия изображений на реконфигурируемом компьютере Терциус-2. Автором описано, как определить параметры вычислительной схемы, исходя из параметров имеющейся РВС. Для увеличения количества параллельно работающих вычислительных слоев автором предложено произвести редукцию по разрядности входных данных и подавать каждый элемент массива побитово. При этом осуществляется подача одновременно 256 потоков данных в соответствующее количество параллельно работающих вычислительных слоев.

Автором проведено сравнение производительности полученных реализаций фрактального сжатия и декомпрессии изображений с существующими решениями. Предложенная реализация задачи фрактального сжатия изображений по сравнению с реализацией для многоядерного универсального процессора показывает ускорение в 15000 раз и в 10-40 раз по сравнению с реализациями для ПЛИС. Предложенная реализация задачи декомпрессии изображения показывает ускорение более чем в 50 раз по сравнению с реализацией для универсального многоядерного процессора.

В третьей главе автор приводит описания задач математической физики, использующих дробные операторы дифференцирования, которые позволяют более точно описывать процессы распространения жидкостей и газов в фрактальных средах по сравнению с классическими. Автором показано, что моделирование процесса распространения радона во фрактальной среде приводит к появлению СЛАУ, имеющей нерегулярное заполнение ненулевыми элементами. В таком случае стандартные подходы к решению СЛАУ на РВС не дают возможности достичь высокой реальной производительности.

Автор предлагает исходя из параметров СЛАУ, таких как математическое ожидание и среднеквадратичное отклонение количества значащих элементов в строке матрицы, получать оценку для требуемого количества каналов подачи данных в вычислительном слое. Применяя эти оценки на практике, автор показывает, что с их использованием увеличивается коэффициент использования оборудования и уменьшаются простои при подаче данных. Производительность полученных автором вычислительных структур сравнивается 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.

Далее автор описывает возможность 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. Во второй главе при сравнении предложенного метода синтеза вычислительных структур для задачи фрактального сжатия изображений с существующими реализациями для ПЛИС приводится подробный разбор только одного примера и отсутствуют сравнения с другими реализациями.

2. Во второй главе диссертации автор не раскрывает параллельно-конвейерную реализацию функции, осуществляющей выбор доменного блока в зависимости от соответствующего ему рангового.

3. В разделе 2.4 при описании практической реализации автором приведен единственный вариант вычислительной структуры с 256 вычислительными слоями, при этом не рассмотрены альтернативные варианты с меньшим количеством слоев и большей глубиной конвейера и не показано, является ли приведенный вариант оптимальным.

4. В третьей главе автор приводит сравнение производительности полученного метода с другими методами для реконфигурируемых вычислительных систем, но не сравнивает производительность с многопроцессорными системами на базе графических ускорителей.

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:

доцент каф. вычислительной техники ФГБОУ ВО

«Юго-Западный государственный

университет», доктор техн. наук, доцент

Эдуард Игоревич Ватутин

« 18 » августа 2023г.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, д. 94,
ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный
университет»,

www.swsu.ru

8-(4712)-50-48-00

кафедра вычислительной техники

8 (4712) 22-26-65

e-mail: evatutin@rambler.ru

Согласен на обработку персональных данных.



Э.И. Ватутин