

ОТЗЫВ

официального оппонента Соловьева Романа Александровича
на диссертационную работу Кучукова Виктора Андреевича
«Разработка методов и программных средств повышения производительности
отказоустойчивых вычислительных систем, работающих в модулярном коде»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 2.3.5 – Математическое и программное обеспечение вычислительных
систем, комплексов и компьютерных сетей (технические науки)

Актуальность темы. В настоящее время является актуальной задача поиска путей оптимизации архитектуры вычислительных узлов распределенной среды. Для быстрого обнаружения сбоев применяют автоматический контроль ошибок, организация которого может быть решена путем введения избыточности. В качестве метода проектирования отказоустойчивых систем обработки информации, обладающих возможностью увеличить скорость вычисления за счет параллельного выполнения операций сложения и умножения, широко используемых в системах распределенной обработки данных, в работе была выбрана система остаточных классов (СОК). СОК при вычислениях использует не все число, а информацию об его остатках на определенные модули, что позволяет проводить вычисления по независимым каналам с числами небольшой разрядности, за счет чего может быть достигнуто увеличение скорости вычислений. Введение избыточного основания позволяет обнаруживать ошибки вычислений. Введение ограничений на избыточное основание или введение дополнительных оснований позволяет не только обнаруживать, но и исправлять ошибки.

Научная новизна. Основными результатами, составляющими научную новизну диссертационной работы, являются:

1. Модификация методов и алгоритмов перевода из позиционной системы счисления в СОК и из СОК в позиционную систему счисления, определения знака и сравнения чисел в СОК, отличающиеся от известных меньшей размерностью операндов и эффективной реализацией операций без необходимости нахождения остатка по большому модулю.
2. Модификация методов коррекции ошибок распределенной обработки и хранения информации в системе остаточных классов.
3. Разработка программного комплекса для выполнения немодульных операций вычислительными узлами распределенной среды, позволяющий повысить скорость и отказоустойчивость решения задач распределенной обработки данных.

Практическая значимость. Полученные в диссертационной работе результаты могут быть использованы в специализированных высокопроизводительных цифровых системах обработки информации, таких как распределенные и облачные вычислительные системы, системы автоматизированного контроля, функционирующие в непозиционной системе счисления. Разработанные методы обнаружения и локализации ошибок распределенной обработки и хранения данных и методы перевода из системы остаточных классов в позиционную систему счисления имеют внедрение в организации ООО «Инфоком-С» в системе интеллектуального реагирования на инциденты и события «Darvis».

Достоверность и обоснованность научных результатов. Все основные теоретические положения и выводы, сформулированные в диссертационной работе Кучуковым В.А., являются обоснованными, обеспечиваются строгостью проведения математических доказательств, при получении которых был использован научно-методический аппарат математического анализа, теории чисел и численных методов, и подтверждается проведенным сравнительным анализом разработанных методов и алгоритмов с известными ранее с точки зрения скорости обработки данных. По теме работы опубликовано множество публикаций в рецензируемых изданиях, в том числе международных. Проведена апробация исследований на научных конференциях.

Содержание и структура диссертации.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи работы, выбраны объект и предмет исследования, показана научная новизна, практическая и теоретическая ценность полученных результатов, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрены методы повышения отказоустойчивости вычислительных систем, в частности введение избыточности. Произведен выбор подходящего способа кодирования, подходящий для задач, поставленных в диссертационной работе.

Во второй главе производится описание разработанных математических методов и алгоритмов выполнения немодульных операций в СОК. Дается обоснование выбора СОК для решения поставленных задач. Рассмотрена проблема подбора модулей СОК для перевода чисел из позиционной системы счисления, рассмотрены алгоритмы нахождения остатка при делении на модули специального вида. Разработано решение данной проблемы, а именно разработан алгоритм, позволяющий повысить производительность перевода из позиционной системы счисления в СОК за счет эффективного нахождения остатка от деления небольших чисел. Исследованы методы перевода из СОК в позиционную систему счисления на основе Китайской теоремы об остатках, обобщенной позиционной системе счисления, функции ядра и диагональной функции, для модулей специального вида. Рассмотрены проблемы сравнения чисел в СОК и определения знака числа, разработаны подходы по их решению. Предложенный подход позволяет уменьшить вычислительную сложность алгоритма сравнения чисел в СОК. Разработан алгоритм сравнения чисел и определения знака числа на основе функции ядра Акушского с заданными свойствами. Рассмотрена реализация умножения с накоплением (MAC), которое является одной из основных операций цифровой обработки сигналов и нейронных сетей, в системе остаточных классов.

Третья глава посвящена реализации разработанных во второй главе алгоритмов в виде архитектур вычислительных узлов распределенной среды для выполнения арифметических, в том числе немодульных, операций в СОК, предложен алгоритм проектирования отказоустойчивой вычислительной системы. Рассмотрено 6 архитектур вычислительных узлов для работы с системой остаточных классов. Рассмотрен алгоритм проектирования отказоустойчивой вычислительной системы, работающей в модулярном коде. Для исследования разработанных методов и алгоритмов и генерации Verilog-модулей разработан программный комплекс для построения вычислительных систем, работающих в системе остаточных классов.

Предложена модификация перевода чисел из позиционной системы счисления в СОК, которая позволила получить искомые значения, при этом модифицированный метод

на основе периода и полупериода числа позволили в среднем на 50% сократить необходимую площадь, на 23% – время вычислений, по сравнению с нейронной сетью конечного кольца. Проведено уточнение точности приближенного метода на основе КТО для сравнения чисел. Архитектура вычислительного узла, использующего уточненный приближенный метод на основе КТО имеет существенные преимущества в сравнении с другими сравниваемыми методами. Таким образом, разработанные методы показали лучшее время работы, однако по используемой площади уступают обобщенной позиционной системе счисления.

В главе представлено моделирование разработанных архитектур вычислительных узлов выполнения немодульных операций, таких как перевод в позиционную систему счисления и расширение оснований, сравнение чисел, определение знака числа, модулярное умножение по произвольному модулю, исправление ошибок модулярного кода. Данные вычислительные узлы могут быть использованы при реализации модулей вычислительных систем обработки данных, работающих в системе остаточных классов.

В заключении подведены итоги и обобщены результаты проведенных исследований.

В приложении представлены результаты моделирования, акт о внедрении.

Замечания по диссертации.

1. В разделе 2.2 очень много внимания уделено методам других авторов (почти 20 страниц), в то время как описание нового предложенного метода занимает лишь 3 страницы.
2. Термин «нейронная сеть конечного кольца (НСКК)», который встречается в разделе 2.4, вводит в некоторое заблуждение, поскольку под нейронными сетями сейчас понимают другую математическую концепцию. Если это новый термин, то стоило упомянуть его источник или автора.
3. В диссертации получены отличные цифры по скорости и площади по сравнению с двоичными МАС блоками. Однако не достаточно открытых материалов по результатам диссертации, чтобы повторить эксперименты. На графике 3.15 скорость МАС в СОК в два раза превышает скорость двоичного МАС, поэтому, поскольку график задержки двоичного МАС обычно имел логарифмическую зависимость от размерности, имело бы смысл дать объяснение двукратному увеличению скорости. Так же на рисунке 3.16 не указано, включает ли площадь блоки для прямого и обратного преобразования.
4. Не везде указаны настройки экспериментов. Правильно ли я понимаю, что везде использовался Cadence Genus Synthesis Solution вместе с библиотекой `osu018_stdcells`? Проводились ли эксперименты на ПЛИС?
5. В разделе 3.5 в Таблице 7 не указано, как именно были получены данные наборы оснований.
6. В разделе 3.6 нет сравнения с традиционными двоичными методами обнаружения и коррекции ошибок. Так же, судя по всему, считается, что декодер (рис. 3.20) абсолютно защищен и не может допускать ошибок. Это должно быть обосновано.

Отмеченные недостатки не влияют на положительную оценку всех научных и практических результатов диссертации.

Заключение. Диссертация Кучукова В.А. «Разработка методов и программных средств повышения производительности отказоустойчивых вычислительных систем, работающих в модулярном коде» выполнена на актуальную тему, является законченной научно-квалификационной работой, обладает научной новизной и имеет практическую ценность. Автореферат отражает основные полученные научные результаты диссертационной работы.

Таким образом, считаю, что диссертация Кучукова Виктора Андреевича соответствует всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.5 – Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей (технические науки).

Официальный оппонент,
д.т.н., чл.-корр. РАН,
Заместитель генерального директора
по инновационной деятельности
ООО «АльфаЧип»

Соловьев Роман Александрович

21.05.2024