

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной и
исследовательской деятельности,
доктор химических наук

___А.В. Метелица

 2024 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Южный федеральный университет» (ЮФУ)

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»

Диссертационная работа Кучукова В. А. посвящена исследованию и разработке математических методов и алгоритмов выполнения немодульных операций на основе различных форм позиционной характеристики числа, способных повысить скорость и отказоустойчивость обработки информации вычислительными узлами распределенной среды, работающими в модулярном коде. На основе разработанных методов и алгоритмов возможна разработка программных средств реализации вычислительных узлов распределенной среды, характеризующихся высокой скоростью и отказоустойчивостью обработки данных, достигаемыми за счет модификации алгоритмов модулярной арифметики. Полученные 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.

Актуальность темы диссертационной работы

В настоящее время довольно остро ощущается проблема надежной работы вычислительных устройств и достоверности получаемых результатов в связи с усложнением вычислительных структур, условий их эксплуатации и решаемых задач. Требуются новые подходы к обеспечению достоверности вычислений и отказоустойчивости системы, под которой понимают возможность системы сохранять свою работоспособность после отказа одной или нескольких её составных частей. Таким образом, встает задача поиска путей оптимизации архитектуры вычислительных узлов распределенной среды по различным параметрам, таким как безопасность, скорость работы, отказоустойчивость и т. д. 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, может быть выбрана система остаточных классов (СОК). Введение ограничений на избыточное основание или введение дополнительных оснований позволяет не только обнаруживать, но и исправлять ошибки. Тем не менее, в СОК существует ряд операций, называемых немодульными, таких как определение знака числа, сравнение чисел и др., реализация которых является вычислительно сложной.

Поэтому диссертационная работа В. А. Кучукова посвящена решению актуальной задачи – исследованию и разработке математических методов и алгоритмов выполнения немодульных операций на основе различных форм позиционной характеристики числа, способных повысить скорость и отказоустойчивость обработки информации вычислительными узлами распределенной среды, работающими в модулярном коде.

Структура и основное содержание диссертационной работы

Диссертация имеет логичную структуру, что дает возможность последовательно и полно исследовать предложенные в работе методы и алгоритмы. Она состоит из введения, 3 глав, заключения, списка литературы из 145 наименований и 5 приложений. Общий объем основного текста работы – 215 страниц, включая 33 таблицы и 30 рисунков.

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

В первой главе представлены методы повышения отказоустойчивости вычислительных систем, в частности, введение избыточности. При этом к арифметическим кодам, у которых информационная и контрольная части кода равноценны, относится СОК. Сформулирована научная задача исследования: разработка математических методов и алгоритмов выполнения немодульных операций на основе различных форм позиционной характеристики чисел, способных повысить скорость и отказоустойчивость обработки информации вычислительными узлами распределенной среды, работающими в модулярном коде.

Во второй главе рассмотрены реализации немодульных операций в СОК. Рассмотрена проблема выбора модулей СОК для перевода чисел из позиционной системы счисления (ПСС). Предложена модификация методов нахождения остатка от деления на модули специального вида на основе периода и полупериода числа, позволяющая найти наименьший неотрицательный вычет. Предложен новый метод обратного перевода чисел из СОК в ПСС и расширения оснований на основе обобщенной позиционной системы счисления (ОПСС). Рассмотрена проблема сравнения чисел в СОК и определения знака числа. Получена оценка необходимой точности при округлении констант строго возрастающей приближенной функции на основе Китайской теоремы об остатках (КТО) для сравнения чисел, предложен метод сравнения чисел, который позволяет уменьшить размер операндов. Также получена модификация функции ядра Акушского с заданными свойствами. Предложены методы сравнения чисел в СОК с чётным и нечётным динамическим диапазоном. Исследованы методы модульного умножения, а также рассмотрена реализация умножения с накоплением (МАС) в СОК. Введен метод коррекции одиночной ошибки с одним избыточным модулем СОК, приведена приближенная реализация данного метода. Таким образом, реализованы все операции, необходимые для построения отказоустойчивой вычислительной системы обработки данных, работающей в СОК.

В третьей главе представлена реализация разработанных алгоритмов в виде архитектур вычислительных узлов распределенной среды для выполнения арифметических, в том числе немодульных, операций в СОК. Рассмотрен алгоритм проектирования реализации отказоустойчивой вычислительной системы, работающей в модулярном коде. Для реализации данного алгоритма на основе рассмотренных во второй главе методов и алгоритмов разработан комплекс программ. Рассмотрено моделирование перевода числа из ПСС в СОК и обратное преобразование из СОК в ПСС. Предложенные методы позволили повысить скорость вычислений и снизить площадь. Рассмотрены методы вычисления позиционной характеристики для

сравнения чисел и определения знака числа в СОК. Разработанные методы сравнения чисел и определения знака показали лучшее время работы, однако по используемой площади уступают ОПСС. Приведено моделирование умножения с накоплением для двоичной системы счисления и СОК, в которых умножение реализовано стандартными методами Verilog. Реализация в СОК в среднем на 30% быстрее при приблизительно одинаковых занимаемых площадях. Предложена архитектура вычислительного узла для обнаружения и коррекции ошибки модулярного кода, основанная на приближенном методе на основе КТО.

В заключении подведены итоги и обобщены результаты проведенных исследований. **В приложениях** представлены результаты моделирования и акт о внедрении результатов диссертационного исследования.

Основные результаты диссертационной работы

1. Предложен метод для перевода из СОК в ПСС на основе модифицированной ОПСС, который позволяет сократить время вычислений по сравнению с ОПСС и сократить используемую площадь по сравнению с приближенным методом на основе КТО.

2. Представлен модифицированный приближенный метод определения знака и сравнения чисел в СОК на основе КТО, который позволяет повысить скорость вычислений по сравнению с приближенным методом на основе КТО за счет уточнения необходимой точности вычислений коэффициентов приближенного метода и замены операции нахождения остатка от деления взятием младших бит числа.

3. Предложен алгоритм сравнения чисел и определения знака числа на основе функции ядра Акушского без критических ядер, который позволяет за счет модуля специального вида повысить эффективность и точность целочисленных вычислений.

4. Предложена архитектура вычислительного узла обнаружения, локализации и исправления ошибок в СОК на базе приближенного метода. Использование надежного специального избыточного модуля в избыточной СОК с одним контрольным модулем позволяет не только обнаружить ошибку по рабочему модулю, но и локализовать её, при этом снижая требуемую площадь при сохранении скорости вычислений.

5. Представлен комплекс программ и архитектур вычислительных узлов распределенной среды, реализующих немодульные операции в СОК, используемых при решении задач обработки информации на основе СОК, что позволяет повысить скорость и надежность вычислений.

Достоверность полученных результатов

Достоверность полученных в диссертации результатов подтверждается проведенным сравнительным анализом разработанных методов и алгоритмов с известными ранее с точки зрения скорости обработки данных. Результаты диссертационного исследования прошли апробацию на конференциях и иных научных мероприятиях всероссийского и международного уровней, а также в научных публикациях, среди которых 8 в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК, и 16 публикаций, индексируемых в базах научных работ Scopus и Web of Science. Кроме того, получены 7 патентов на изобретение и 14 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Практическая значимость

Разработанные в рамках диссертационного исследования методы обнаружения и локализации ошибок распределенной обработки и хранения данных и методы перевода из СОК в ПСС внедрены в организации ООО «Инфоком-С» в системе интеллектуального реагирования на инциденты и события «Darvis». Полученные научные результаты могут быть использованы в специализированных высокопроизводительных цифровых системах обработки информации, таких как распределенные и облачные вычислительные системы, системы автоматизированного контроля, функционирующие в СОК.

Замечания

1. В параграфе 2.1 критерием сбалансированности СОК выступает одинаковая разрядность модулей. Тем не менее не упоминается, что сбалансированность по разрядности вычислительных каналов не гарантирует сбалансированности по скорости выполнения вычислений или по площади устройств, выполняющих вычисления по каждому модулю. Например, набор модулей $\{2^n - 1, 2^n, 2^n + 1\}$ хоть и сбалансирован по разрядности модулей, но скорость выполнения преобразования числа из ПСС в СОК и арифметических операций в СОК с данным набором модулей будет разной для каждого модуля.

2. В параграфе 2.1 нет пояснений, как оценивается эффективность программных реализаций основных модулярных операций (по площади).

3. В названии параграфа 2.3.3 опечатка. Автор, очевидно, имел в виду СОК с четным динамическим диапазоном.

4. В работе рассмотрены алгоритмы нахождения остатка от деления на модули специального вида 2^n и $2^n \pm 1$. Но далее в работе рассматриваются методы определения знака числа, сравнения чисел и модульного умножения и так далее для СОК с модулями общего вида. Не рассмотрен вопрос, как выбор модулей специального вида влияет на вычислительную сложность представленных методов.

Заключение

Указанные замечания не критичны и не снижают научную и практическую ценность диссертационной работы. Диссертация является законченным научным исследованием, написанном на высоком уровне. Результаты диссертационного исследования представлены в статьях автора, а также докладывались на всероссийских и международных конференциях. Автореферат диссертации правильно и полно отражает содержание работы.

Диссертационная работа Виктора Андреевича Кучукова соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.5 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей», а ее автор, Кучуков Виктор Андреевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.5 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей».

Отзыв подготовлен профессором кафедры прикладной математики и программирования, доктором технических наук (05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ) Анатолием Борисовичем Усовым (344090, Ростов-на-Дону, ул. Мильчакова, 8А, тел. раб. +7(863)2975411, эл. почта: abusov@sfedu.ru).

Отзыв обсуждён и утверждён на заседании кафедры прикладной математики и программирования Института математики, механики и компьютерных наук им. И.И. Воровича Южного федерального университета от 23 апреля 2024 г., протокол № 9. Присутствовало на заседании 8 чел.

Результаты голосования: «за» – 8 чел., «против» – нет, «воздержались» – нет.

Заведующий кафедрой прикладной математики и программирования
Института математики, механики и компьютерных наук им. И.И. Воровича
ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», д.ф.-м.н., профессор

Г.А. Угольницкий

344090, г.Ростов-на-Дону, ул. Мильчакова, 8А

23 апреля 2024 г.