

УДК 681.04

С.А. КОШМАН

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
им. Петра Василенка, Украина*

КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОСТАТОЧНЫХ КЛАССОВ

В данной статье рассматривается возможность использования системы остаточных классов (СОК) для построения высокопроизводительных и высоконадежных вычислительных систем обработки информации (СОИ). Основное внимание уделяется анализу свойств непозиционных кодовых структур и их влияния на архитектуру, и основные технические характеристики (производительность и надежность) СОИ. Использование свойств СОК обеспечивает параллельную обработку цифровой информации с одновременным обеспечением отказоустойчивости функционирования СОИ. Материалы данной статьи могут быть использованы при создании средств обработки цифровой информации, функционирующих в реальном времени решения алгоритма управления.

Ключевые слова: система счисления, система остаточных классов, производительность, надежность, система обработки информации, табличная арифметика.

Введение

Не смотря на бурное развитие современной вычислительной техники, которое наблюдается на протяжении последнего десятилетия, по-прежнему нерешенными и актуальными задачами остаются повышение пользовательской производительности и обеспечение заданного уровня надежности.

Высокая производительность современных систем обработки информации (СОИ) достигается благодаря использованию пространственного и временного параллелизма с учетом достижений интегральных технологий. Среди основных идей следует выделить конвейерную организацию вычислений, сочетания обработки данных на разных уровнях, использование нескольких параллельно работающих арифметико-логических устройств (АЛУ) с конвейерным принципом обработки данных, расслоение памяти, применения наиболее быстрой элементной базы, для того, чтобы в максимальной мере обеспечить распараллеливание выполнения операций и др. Однако решение далеко не любой задачи допускает параллельное вычисление ее на различных СОИ. В большинстве случаев алгоритмы решений носят сугубо последовательный характер. Только сложными искусственными приемами удастся произвести необходимое распараллеливание, при этом затрачивается значительная часть суммарной производительности вычислительного устройства (ВУ) на следующую увязку всех частей решения между собой. Кроме того, имеются трудности при создании

программного обеспечения для таких систем обработки дискретной информации [1].

Целью статьи является обоснование концепции создания высокопроизводительных и надежных СОИ, которые функционируют в системе остаточных классов (СОК).

1. Анализ последних исследований

Анализируя пути повышения производительности современных СОИ можно прийти к выводу, что в рамках обычной позиционной системы счисления (ПСС) значительного ускорения выполнения арифметических операций добиться почти невозможно. Выход из этого положения требует привлечения новых идей, новой арифметики. Основной идеей при построении кодов, обеспечивающих ускорение процессов обработки информации, является идея распараллеливания. Основа этой идеи заключается в использовании кодов с параллельной структурой или, иначе, непозиционных кодов. Параллельная структура кодов позволяет ставить и решать новые задачи, недоступные для позиционных кодов, такие как построение в пределах одного процессора живучих арифметических структур [2].

Ситуацию с использованием машинных кодов можно охарактеризовать двумя критериями. С одной стороны, методы двоичного кодирования исследованы достаточно полно, и машинная арифметика двоичных кодов приобрела формы классической дисциплины. При этом наблюдается спад и поиск новых идей, отно-

сящих к методам выполнения арифметических операций, а повышение эффективности выполнения вычислений приходится осуществлять за счет усложнения схемотехники. С другой стороны, повышение требований, предъявляемых к быстродействию и надежности СОИ, стимулирует интенсивный поиск новых форм кодирования. Здесь широкие перспективы открываются на основе использования СОК, надежность и живучесть таких СОИ приближается к биологическим системам в сочетании с высоким быстродействием за счет возможности распараллеливания основных арифметических операций [3].

2. Основные материалы исследований

Как уже отмечалось выше одним из важнейших методов достижения высокой производительности и надежности СОИ является повышение эффективности вычислительных операций средствами специального кодирования. Кодирование элементов некоторой конечной модели действительных чисел и система правил реализации арифметических операций над элементами конечной модели на языке некоторого кода определяются системой счисления.

Рассмотрим влияние основных свойств СОК на основные технические характеристики (производительность и надежность) СОИ.

1. Независимость остатков. Это свойство дает возможность построить СОИ в виде набора независимых, параллельно работающих вычислительных трактов ("малых" вычислительных трактов обработки информации, функционирующих по своему определенному модулю m_i в СОК, не зависимо друг от друга и параллельно во времени). Таким образом, СОИ функционирующая в СОК обладает модульностью конструкции, что позволяет осуществлять техническое обслуживание и устранение неисправностей не прекращая решение вычислительной задачи. Время реализации арифметических операций в СОИ определяется временем реализации операции в вычислительном тракте по наибольшему основанию m_i СОК. Ошибки, возникающие за счет отказов (сбоев) схем двоичных разрядов в произвольном вычислительном тракте СОИ, не "размножаются" в соседние тракты (остаются в пределах одного остатка), что дает возможность повысить достоверность вычислений в СОК. При этом не важно имела место однократная или многократная ошибка или пачка ошибок длиной не более $[\log_2(m_i-1)]+1$ двоичных разрядов. Ошибка, возникшая в вычислительном тракте по основанию m_i , либо сохраняется в этом тракте до конца вычислений, либо самоустраняется в процессе дальнейших вычислений.

Таким образом, данное свойство СОК позволяет реализовать уникальную систему контроля и кор-

рекции ошибок в динамике вычислительного процесса при введении минимальной кодовой избыточности без остановки вычислений, что является очень существенным для систем, функционирующих в режиме реального времени.

2. Равноправность остатков. Любой остаток a_i числа $A=(a_1, a_2, \dots, a_n)$ несет информацию обо всем исходном числе, что дает возможность программными методами заменить отказавший вычислительный тракт по модулю m_i на работоспособный тракт по модулю m_j ($m_i < m_j$) не прерывая решение задачи. Таким образом, СОИ функционирующая в СОК имеющая, например, два контрольных основания сохраняет свою работоспособность при отказе двух любых вычислительных трактов. При возникновении отказов в третьем или четвертом трактах СОИ продолжает выполнять программу вычислений при некотором снижении точности вычислений, т. е. СОИ обладает свойством постепенной деградации с сохранением основных технических характеристик. Данное свойство определяет характерную особенность функционирования СОИ в СОК – одно и то же вычислительное устройство, в зависимости от предъявляемых требований может иметь различную надежность, точность вычислений и быстродействие в динамике вычислительного процесса, т.е. в процессе решения задачи можно варьировать надежностью (достоверностью), точностью вычислений и быстродействием.

Пусть объект, выраженный числовым кодом в СОК, определяется набором оснований $\{m_i\}$; $i=1, n+k$ (описывается набором $\{a_i\}$ остатков). Время выполнения арифметических операций и точность решения зависит от количества информационных оснований n , а надежность (достоверность) вычислений зависит от количества контрольных оснований k . Допустим, в процессе вычислений возникла необходимость повысить надежность вычислений. В этом случае, в реальном времени, происходит перераспределение оснований СОК $i=1, n'+k'$, при этом $n' < n$, а $k' > k$ и $n+k=n'+k'=\text{const}$. В данном случае уменьшается точность вычислений и повышается быстродействие выполнения арифметических операций, которые определяются количеством информационных оснований n' .

Если же возникает необходимость на отдельном участке вычисляемой программы увеличить точность решения, то перераспределение программы происходит следующим образом: $i=1, n''+k''$ ($n+k=n''+k''=\text{const}$). В этом случае при повышении точности вычислений ($n'' > n$) уменьшается их надежность (достоверность вычислений) и быстродействие (пользовательская производительность) ($k'' < k$) решения данной задачи.

Время, необходимое для выполнения модульных операции в СОК, пропорционально числу информационных оснований, т.е. числу оснований, определяющих точность вычислений. Переход к вычислениям с меньшей точностью позволяет повысить быстродействие СОИ. Если упорядоченная СОК расширяется путем добавления l оснований, каждое из которых больше предыдущего основания исходной СОК, то минимальное кодовое расстояние d_{\min} автоматически увеличивается на величину l . Этого же можно добиться, уменьшая число информационных оснований, т.е. переходя к вычислениям с меньшей точностью. Следовательно, между корректируемыми возможностями кодов в СОК и точностью вычислений существует обратно пропорциональная зависимость.

Применительно к ПСС данное свойство, заключающееся в возможности изменять соотношение между числом информационных и контрольных оснований в процессе решения задачи, основывается на известном методе переменного масштабирования, позволяющего сокращать количество разрядов при представлении числовой информации в ПСС. За счет этого удастся ввести дополнительные разряды для организации аппаратного оперативного контроля при наличии ограничений на увеличение веса, габаритов и стоимости СОИ. При этом можно маневрировать точностью, скоростью и надежностью вычислений. Однако специфика ПСС накладывает следующие ограничения на метод переменного масштабирования:

- перед каждым тактом выполнения программы необходимо производить дополнительные операции сдвига, снижающие на $\approx 10\%$ реальное быстродействие компьютера;
- использование перед составлением программы переменного масштабирования предполагает выполнение большого объема теоретических работ по определению рациональных масштабных коэффициентов;
- масштабирование имеет смысл применять только для определенного класса задач;
- данный метод не целесообразен для компьютеров, функционирующих в реальном времени.

Совместное использование первого и второго свойств СОК обуславливает наличие в СОИ одновременно трех основных видов резервирования: структурного, информационного и функционального.

Основываясь на идеи структурного резервирования совместное использование первого и второго свойств СОК, позволяет синтезировать надежностную модель СОИ в СОК, соответствующую модели динамического резервирования в ПСС. В этом случае информационные тракты $m_1 \div m_n$ СОИ играют

роль рабочих элементов, а тракты $m_{n+1} \div m_{n+k}$ – роль резервных элементов, где k – количество контрольных (резервных) оснований СОК.

3. Малоразрядность остатков. Это свойство позволяет существенно повысить надежность и быстродействие выполнения арифметических операций как за счет малоразрядности вычислительных трактов СОИ, так и за счет возможности применения (в отличие от ПСС) табличной арифметики, где арифметические операции выполняются практически за один такт.

В частности малоразрядность остатков в СОК дает возможность широкого выбора вариантов системотехнических решений при реализации модульных арифметических операций, основанных на следующих принципах: сумматорный принцип (на базе малоразрядных двоичных сумматоров); табличный принцип (на основе использования таблиц ПЗУ); прямой логический принцип, основанный на описании модульных операций на уровне систем переключательных функций булевой алгебры; принцип кольцевого сдвига, основанный на использовании кольцевых регистров сдвига.

На основе использования трех основных свойств СОК (независимость, равноправность и малоразрядность остатков, определяющих информационную кодовую структуру СОИ) арифметика в классе вычетов по сравнению с ПСС обладает следующими существенными преимуществами:

- возможность распараллеливания вычислений на уровне декомпозиции операндов, что существенно повышает их быстродействие;
- пространственное разнесение элементов данных с возможностью их последующей асинхронной независимой обработки;
- возможность табличного выполнения арифметических операций с однократной выборкой результата модульной операции;
- возможность создания цифровых устройств с эффективным обнаружением и исправлением сбоев и отказов;
- возможность коррекции ошибок в динамике вычислительного процесса путем добавления малых (а, следовательно, и более надежных, чем в позиционных процессорах) резервных блоков, аппаратные затраты которых пропорциональны объему соответствующих сумматорных или табличных вычислителей;
- обеспечение высокой активной отказоустойчивости вычислительных структур на основе оперативной реконфигурации структуры вычислителя;
- меньшая вычислительная сложность вычислительных алгоритмов для отдельных классов (типов) задач;
- проявление особого свойства структуры модулярного вычислителя, обеспечивающего отсутствие эффекта размножения ошибок вычислений;

– приспособленность структуры СОИ в СОК для проведения оперативной диагностики блоков и узлов системы.

Совокупность положительных свойств системы остаточных классов определяет следующие классы задач, в которых СОК существенно эффективнее ПСС: криптографические и модульные преобразования; цифровая обработка сигналов; обработка (сжатие) изображений; целочисленная обработка данных большой (сотни бит) разрядности в реальном времени; векторная и матричная обработка больших массивов информации; нейрокомпьютерная обработка информации; оптоэлектронная табличная обработка информации; реализация алгоритмов БПФ и ДПФ.

Заключение

Таким образом, в статье дана концепция создания СОИ функционирующей в реальном времени.

Проведен анализ основных свойств непозиционных кодовых структур представленных в системе ос-

таточных классов. Как показали проведенные исследования, кодирование информации в СОК дает возможность существенно повысить производительность и обеспечить заданный уровень надежности СОИ при обработке дискретной информации.

Литература

1. Червяков Н.И. Модулярные параллельные вычислительные структуры нейропроцессорных систем / Н.И. Червяков, П.А. Сахнюк, А.В. Шапошников, С. А. Ряднов. под. ред. Н.И. Червякова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 288 с.

2. Акушский И.Я. Машинная арифметика в остаточных классах / И.Я. Акушский, Д.И. Юдицкий. – М.: Советское радио, 1968. – 440 с.

3. Фурман И. А. Вариант синтеза процессора в системе остаточных классов / И.А. Фурман, С.А. Кошман, В.А. Краснобаев // Радиотехника и информатика. – 2003. – №2. – С. 94–96.

Поступила в редакцию 10.02.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. И. А. Фурман, Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенка, Украина.

КОНЦЕПЦІЯ СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ ОБРОБКИ ЦИФРОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ ЗАЛИШКОВИХ КЛАСІВ

С.О. Кошман

У даній статті розглядається можливість використання системи залишкових класів (СЗК) для побудови високопродуктивних і високонадійних обчислювальних систем обробки інформації (СОІ). Основна увага приділяється аналізу властивостей непозиційних кодових структур та їх впливу на архітектуру і основні технічні характеристики (продуктивність і надійність) СОІ. Використання властивостей СЗК забезпечує паралельну обробку цифрової інформації з одночасним забезпеченням відмовостійкості функціонування СОІ. Матеріали даної статті можуть бути використані при створенні засобів обробки цифрової інформації, що функціонують у реальному часі вирішення алгоритму управління.

Ключові слова: система числення, система залишкових класів, продуктивність, надійність, система обробки інформації, таблична арифметика.

CONCEPTION OF CREATION OF INFORMATION-PROCESSING SYSTEM ON BASIS OF THE USE SYSTEMS OF REMAINING CLASSES

S.O. Koshman

In this article possibility of the use of the system of remaining classes (SRC) is examined for the construction of the high-performance and highly reliability computer information-processing system (IPS). Basic attention is spared the analysis of properties of position-independent code structures and their influence on architecture and basic technical descriptions (productivity and reliability) of IPS. The use of properties of SRC provides the simultaneous processing of digital information with the simultaneous providing of fail-safety of functioning of IPS. Materials of this article can be used for creation of facilities of treatment of digital information, which functioning in real time decisions of control algorithm.

Key words: number system, system of remaining classes, productivity, reliability, information-processing system, tabular arithmetic.

Кошман Сергей Александрович – ст. преп. кафедри автоматизації і комп'ютерних технологій, Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. Петра Василенка, Харьков, Украина, e-mail: s_koshman@ukr.net.