УДК 681.04

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА СИНТЕЗА ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ ОСТАТОЧНЫХ КЛАССОВ

Кошман С. О., к.т.н.
Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенка
Тел.: (057) 712-35-37

Аннотация **– рассматривается метод табличной реализации арифметической операции умножения в системе остаточных классов, который позволяет сократить количество оборудования табличных операционных устройств.**

Ключевые слова **– система счисления, табличная арифметика, система обработки информации, производительность.**

Постановка проблемы. Сложность, масштабы и объемы задач, которые решаются современными системами обработки информации (СОИ) реального времени, обуславливают необходимость расширения их функций и возможностей, что приводит к увеличению количества и сложности оборудования вычислительных средств и систем, усложнению их математического и программного обеспечения. Это в свою очередь вызывает необходимость принятия дополнительных мер по обеспечению заданного уровня надежности и повышению производительности функционирования СОИ.

Для повышения надёжности СОИ, которые функционируют в позиционных системах счисления (ПСС), обычно используют два основных принципа: повышение надежности отдельных логических элементов и схем (использования новой элементной базы) и введения различных типов избыточности (применения разных видов резервирования, которые влияют на надежность функционирования СОИ). Поскольку надежность логических элементов в основном определяется уровнем развития технологии, то очевидно, что введение избыточности при использовании любой элементной базы, есть, наиболее, эффективный путь повышения надёжности СОИ.

Что касается поиска путей повышения производительности СОИ реального времени без снижения надёжности обработки информации, то в пределах ПСС этого добиться практически невозможно без ухудшения массогабаритных и других основных характеристик.

Однако, как показано в [1, 2] замена традиционно-использующейся в СОИ позиционной системы счисления на непозиционную систему счисления, а именно на систему остаточных классов (СОК) может положительно решить вышеуказанные задачи.

Формулирование целей статьи. Целью статьи является рассмотрение концепции построения СОИ в СОК с учётом основных свойств и принципов организации архитектур на базе непозиционных систем счисления.

Основная часть. Как известно в СОК операнд A представляется в виде набора остатков $\{a_i\}, i=\overline{1,n}$, которые образуются путём последовательного деления исходного числа A на набор $\{m_i\}$ модулей (оснований), при условии, что они являются взаимно попарно простыми числами, т. е. для любой пары оснований наибольший общий делитель равен единице $(m_i, m_j)=1;\ i\neq 1$, где $a_i = A-[A/m_i]m_i$.

Из определения можно сформулировать основные свойства СОК такие как:

1. Независимость остатков. Это свойство дает возможность построить СОИ в виде набора информационно независимых вычислительных трактов (отдельных СОИ, функционирующих по своему определенному модулю m_i в СОК). При этом время реализации арифметических операций определяется временем реализации в вычислительном тракте СОИ по наибольшему основанию m_n СОК. Как видно, ошибки, возникающие за счет отказов (сбоев) схем двоичных разрядов в произвольном вычислительном тракте СОИ, не «размножаются» в соседние тракты, а остаются в пределах одного остатка, что дает возможность повысить достоверность вычислений в СОК.

2. Равноправность остатков. Любой остаток a_i числа A_k в СОК несёт информацию обо всём исходном числе, что даёт возможность программными методами заменить искажённый тракт по модулю m_i на исправный (контрольный) тракт по модулю m_j ($m_i < m_j$), не прерывая решения задачи.

Так же следует отметить, что одна и та же СОИ в СОК может иметь различную надёжность в зависимости от требований, которые предъявляются к точности, объёму памяти и быстродействию при решении определённого вида задач.

3. Малоразрядность остатков. Это свойство позволяет существенно повысить быстродействие выполнения арифметических операций, как за счёт малоразрядности вычислительных трактов СОИ, так и за счет возможности применения (в отличие от ПСС) табличной арифметики, где арифметические операции сложения, вычитания и умноже-

ния выполняются практически в один такт.

Отметим основные принципы реализации арифметических операций над остатками числа в СОК такие как: сумматорный (на базе малоразрядных двоичных сумматоров); принцип кольцевого сдвига (на базе кольцевых регистров сдвига); прямой логический принцип с использованием логических переменных и табличный принцип на базе матричных схем (постоянных запоминающих устройств).

При этом можно сделать вывод, что табличный принцип обладает следующими достоинствами:

- табличные схемы имеют высокую надежность, так как реализуются в виде компактных ПЗУ; в этом случае весь тракт СОИ строится по блочному принципу, что улучшает ремонтопригодность СОИ (уменьшается время восстановления);

- простота табличных схем и дешифраторов, имеющих количество выходов, соответствующих основанию СОК;

- высокое быстродействие; результат операции может быть получен в момент поступления входных операндов, т.е. в один такт; время выполнения арифметических операций в СОК сравнимо с тактовой частотой вычислителя, что принципиально невозможно для позиционных вычислительных машин при существующей элементной базе.

Однако, несмотря на вышеуказанные достоинства табличного принципа реализации арифметических операций, он обладает довольно существенным недостатком, а именно: количество оборудования таблицы (количество логических элементов *И*) имеет квадратичную зависимость от выбранного основания $\left(m_i\right)^2$, а общее количество схем совпадения в узлах матриц для заданной системы оснований СОК равно $\sum_{i=1}^{n}\left(m_i\right)^2$.

Из этого следует, что для практической реализации СОИ, основанную на табличном принципе, необходимо применять методы специального кодирования, построенные на основе использования планарной симметрии, которые позволяют уменьшить количество оборудования таблиц за счёт их внутренней избыточности.

Рассмотрим метод реализации операции модульного умножения.

Составим таблицу из числовых значений $a_i \times b_i (\operatorname{mod} m_i)$ (табл. 1). Эта таблица симметрична относительно диагоналей, вертикали и горизонтали, проходящих между числами $\frac{(m_i-1)}{2}$ и $\frac{(m_i+1)}{2}$ [3]. Симметричность относительно вертикали и горизонтали определяется из условия кратности суммы симметричных чисел

$$a_i b_i + a_i (m_i - b_i) \equiv 0 (\operatorname{mod} m_i),\ a_i b_i + b_i (m_i - a_i) \equiv 0 (\operatorname{mod} m_i).$$

Вследствие этого, для реализации операции $a_i b_i (\mathrm{mod}\, m_i)$ представляется наиболее эффективным применение методов таблицу специального кодирования, позволяющих в четыре раза уменьшить таблицу модульного умножения. Для решения поставленной задачи возможны различные представления специальных кодов. Рассмотрим вариант реализации операции модульного умножения посредством кода табличного умножения (КТУ) (табл. 1).

Таблица - 1 Реализации арифметической операции модульного умножения $(a_0 \times b_0) \mathrm{mod}\, m$

b \ a	a_0	…	$a_{\frac{m-1}{2}}$	$a_{\frac{m+1}{2}}$	…	a_{m-1}
b_0	c_{00}	…	$c_{(\frac{m-1}{2})0}$	$c_{(\frac{m+1}{2})0}$	…	$c_{(m-1)0}$
…	…	…	…	…	…	…
$b_{\frac{m-1}{2}}$	$c_{0(\frac{m-1}{2})}$	…	$c_{(\frac{m-1}{2})(\frac{m-1}{2})}$	$c_{(\frac{m+1}{2})(\frac{m-1}{2})}$	…	$c_{(m-1)(\frac{m-1}{2})}$
$b_{\frac{m+1}{2}}$	$c_{0(\frac{m+1}{2})}$	…	$c_{(\frac{m-1}{2})(\frac{m+1}{2})}$	$c_{(\frac{m+1}{2})(\frac{m+1}{2})}$	…	$c_{(m-1)(\frac{m+1}{2})}$
…	…	…	…	…	…	…
b_{m-1}	$c_{0(m-1)}$	…	$c_{(\frac{m-1}{2})(m-1)}$	$c_{(\frac{m+1}{2})(m-1)}$	…	$c_{(m-1)(m-1)}$

Пусть даны входные операнды a_i и b_i. Значения $a_i\,(b_i)$, лежащие в диапазоне $\left[0, \frac{m_i-1}{2}\right)$, могут быть закодированы произвольным образом, а значения $a_i\,(b_i)$, лежащие в диапазоне $\left[\frac{m_1+1}{2}, m_i-1\right)$, кодируются, как $m_i - a_i (m_i - b_i)$. Для отличия диапазонов вводится индекс γ_a (γ_b), определенный следующим образом:

$$\gamma_a,\ \gamma_b = \begin{cases} 0, \textit{ если } 0 \le a_i(b_i) \le \dfrac{m_i-1}{2} \\ 1, \textit{ если } \dfrac{m_i+1}{2} \le a_i(b_i) \le m_i - 1 \end{cases}$$

Метод определения результата операции модульного умножения, посредством КТУ, следующий:

– если заданы два операнда в КТУ $a_i = (\gamma_a, a_i')$, $b_i = (\gamma_b, b_i)$, то для, того чтобы получить произведение этих чисел по модулю m_i, достаточно получить произведение $a_i' \times b_i' (\mathrm{mod}\, m_i)$ и инвертировать его обобщенный индекс γ_i ;

- если γ_a отлично от γ_b, т.е. $a_i \times b_i (\mathrm{mod}\, m_i) = (\gamma_i, a_i' \times b_i' (\mathrm{mod}\, m_i))$,

где $\gamma_i = \begin{cases} \bar{\gamma}_i, \text{если } \gamma_a \neq \gamma_b \\ \gamma, \text{если } \gamma_a = \gamma_b \end{cases}$

Для того чтобы восстановить таблицу модульного умножения $a_i \times b_i (\mathrm{mod}\, m_i)$, достаточно иметь числовую информацию только о ее восьмой части. При этом избыточность ¼ части таблицы умножения определяется симметрией относительно её левой диагонали

$$\left(\gamma_a, a_i'\right)\left(\gamma_\beta, \beta_i'\right)(\mathrm{mod}\, m_i) \equiv \left(\gamma_\beta, \beta_i'\right)\left(\gamma_a, a_i'\right)(\mathrm{mod}\, m_i).$$

Отсюда возникает возможность сократить таблицу (количество схем совпадения ПЗУ) модульного умножения.

Блок-схема реализации 1/8 части таблицы умножения представлена на рис. 1.

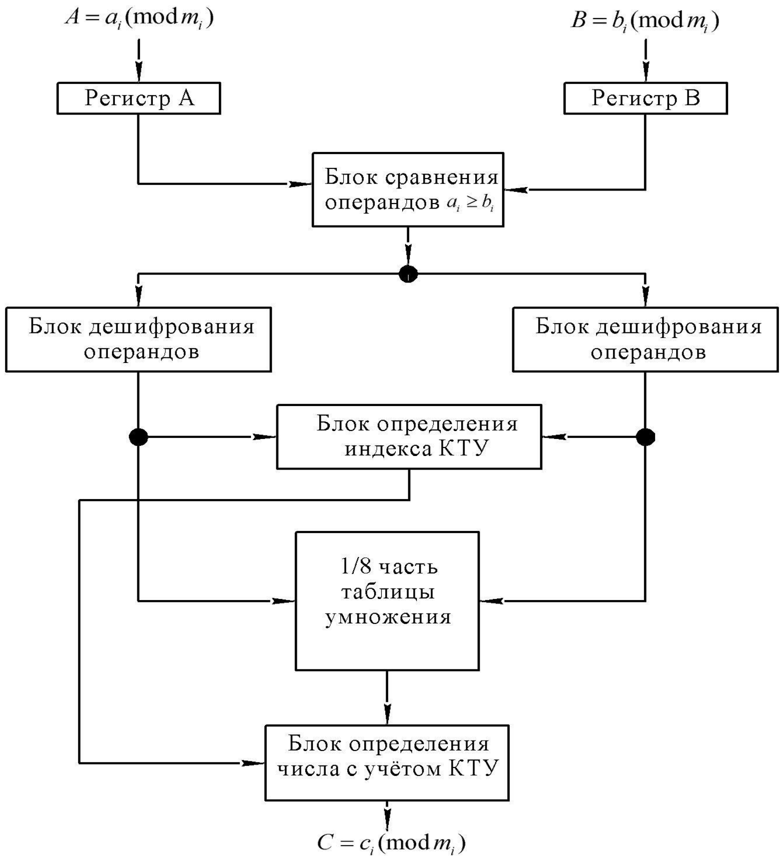

Рис. 1. Блок схема реализации 1/8 части таблицы умножения в СОК.

Таким образом, используя внутреннюю избыточность таблицы модульного умножения, возможно, максимально уменьшить количество оборудования табличного операционного устройство. Рассмотренный метод реализации модульной операций умножения позволяет оптимизировать структуру СОИ путем повышения эффективности использования табличной арифметики. Сокращение количества оборудования ПЗУ, составляющих основную часть операционного устройства, позволяет повысить надежностные показатели (увеличить вероятность безотказной работы $P(t)$, уменьшить время восстановления $T_в$) и улучшить эксплуатационно-технические показатели (уменьшить массу и габаритные размеры, уменьшить потребляемую мощность и улучшить техническое обслуживание) СОИ в СОК.

Литература.

1. *Акушский И. Я.* Машинная арифметика в остаточных классах / *И. Я. Акушский, Д. И. Юдицкий.* – М. : Советское радио, 1968. – 440 с.
2. *Краснобаєв В. А.* Застосування системи залишкових класів у машинній арифметиці / *В. А. Краснобаєв, С. О. Кошман* // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. – Х. : ХДТУСГ, 2003. – Вип. 19, т. 2 – С. 134–136.
3. *Кошман С. А.* Табличный метод обработки цифровой информации в классе вычетов / *С. А. Кошман, С. Н. Деренько, В. А. Краснобаев* // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2006. – № 5. – С. 171–175.

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ СИНТЕЗУ ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ СИСТЕМ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ НА ОСНОВІ СИСТЕМИ ЗАЛИШКОВИХ КЛАСІВ

Кошман С.О.

Анотація **– розглядається метод табличної реалізації арифметичної операції множення у системі залишкових класів, котрий дозволяє скоротити кількість обладнання табличних операційних пристроїв.**

PERFECTION OF METHOD OF SYNTHESIS OF THE HIGH-PERFORMANCE SYSTEMS TREATMENT OF INFORMATION ON THE BASIS OF THE SYSTEM OF REMAINING CLASSES

S. Koshman

Summary

The method of tabular realization of arithmetic operation of increase in the system of remaining classes is examined, which allows to shorten the amount of equipment of tabular operating devices.