УДК 681. 03

А.А. СИОРА[1], В.А. КРАСНОБАЕВ[2]

[1]ЗАО "Радий", Украина
[2]Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. Петра Василенко, Украина

ВНУТРЕНЯЯ ДИВЕРСНОСТЬ РЕАЛИЗАЦИИ АРИФМЕТИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ В МОДУЛЯРНОЙ СИСТЕМЕ СЧИСЛЕНИЯ

В статье сформулировано четыре принципа реализации арифметических операций в модулярной системе счисления (МСС). Рассмотрена внутренняя диверсность реализации арифметических операций в МСС. Показано, что при создании систем обработки информации и управления (СОИУ) объектами критического применения использование МСС дает возможность более широко (в отличие от позиционных систем счисления) осуществлять выбор системотехнических вариантов построения отдельных блоков и узлов. Представлена совокупность методов технической реализации арифметических операций.

Ключевые слова: *модулярная система счисления, система обработки информации и управления объектами критического применения, внутренняя диверсность, система счисления в остаточных классах*

Введение

Широкое внедрение систем обработки информации во всех отраслях народного хозяйства, а также в военном деле практически устраняет влияние человеческого фактора на процесс контроля и управления сложными авиационными техническими системами. Это ставит практически в полную зависимость процесс управления от надежности (отказоустойчивости) и достоверности функционирования средств обработки информации и в первую очередь для объектов критического применения. Данное обстоятельство и обуславливает необходимость совершенствования существующих и разработки принципиально новых методов повышения надежности, отказоустойчивости и достоверности СОИУ.

Существующие СОИУ объектами критического применения (СОИУ ОКП) в большинстве случаев основываются на использовании позиционных систем счисления, основной недостаток которых состоит в наличии межразрядных связей в обрабатываемых операндах, что, обуславливает возможность возникновения ошибок в вычислениях как за счет, так и в процессе переносов между двоичными разрядами. Тенденция развития СОИУ направлена на увеличение длины машинного слова, в частности, сейчас в системах обработки информации реального времени уже используются восьми-байтовые разрядные сетки, где данный недостаток ПСС проявляется особенно существенно.

Поиски путей повышения отказоустойчивости СОИУ как в нашей стране, так и за рубежом, показали, что применение кодов модулярной арифметики (применение непозиционной системы, счисления в остаточных классах) позволяет существенно повысить эффективность, надежность и достоверность средств переработки цифровой информации [1 – 3].

Целью статьи является рассмотрение внутренней диверсности реализации арифметических операций в МСС.

Анализ последних исследований. Известно, что малоразрядность остатков в представлении чисел в модулярной арифметике, например, в непозиционной системе счисления в остаточных классах (в модулярной системе счисления (МСС)), дает возможность широкого выбора вариантов системотехнических решений при реализации арифметических операций.

Известно, что существует четыре принципа реализации арифметических операций в МСС.

Сумматорный принцип (СП) (на базе малоразрядных двоичных сумматоров) [4, 5].

Табличный принцип (ТП) (на основе использования ПЗУ) [6-8].

Прямой логический принцип реализации арифметических операций, основанный на описании модульных операций на уровне систем переключательных функций, посредством которых формируются значения двоичных разрядов результирующих вычетов (в качестве элементной базы для технической реализации данного принципа целесообразно использовать систолические и программируемые логические матрицы, а также ПЛИС) [7].

Принцип кольцевого сдвига (ПКС), основанный на использовании кольцевых регистров сдвига (КРС) [7, 9, 10].

Основные материалы исследований

Отсутствие межразрядных связей между двоичными разрядами операционного устройства (ОУ) системы обработки информации в процессе реализации модульных операций на основе ТП или ПКС является одной из главных и наиболее привлекательных особенностей модулярной арифметики.

В позиционной системе счисления выполнение арифметической операции предполагает последовательную обработку разрядов операндов по правилам, определяемым содержанием данной операции, и не может быть закончено до тех пор, пока не будут последовательно определены значения всех промежуточных результатов с учетом всех связей между разрядами. Таким образом, ПСС, в которых представляется и обрабатывается информация в современных СОИУ, обладают существенным недостатком – наличием межразрядных связей, которые накладывают свой отпечаток на методы реализации арифметических операций, усложняют аппаратуру, снижают надежность и ограничивают быстродействие. Поэтому естественно изыскание возможностей построения такой арифметики, в которой бы поразрядные связи отсутствовали. В этом плане обращает на себя внимание система счисления в остаточных классах. Система остаточных классов обладает ценным свойством независимости друг от друга остатков по принятой системе оснований. Эта независимость открывает широкие возможности в построении не только новой машинной арифметики, но и принципиально новой схемной реализации СОИУ, которая в свою очередь заметно расширяет применение машинной арифметики. Система счисления в большей степени влияет на структуру операционного устройства СОИУ [11 – ва 12].

Принципиально операционное устройство СОИУ в МСС может выполняться либо в сумматорном варианте (на базе малоразрядных двоичных сумматоров), либо в табличном (матричном) варианте. При построении ОУ на базе малоразрядных сумматоров каждый из разрядов числа обрабатывается независимо, но время выполнения всей операции определяется временем, необходимым для получения результата по наибольшему основанию МСС.

Отметим основные недостатки сумматорного варианта реализации арифметических операций:

– сложность синтеза двоичных сумматоров;

– большое время преобразования информации для значительных разрядных сеток СОИ, определяемое максимальным основанием МСС;

– сложность реализации операции умножения;

– неэффективное использование двоичных элементов ОУ СОИУ, вследствие избыточности максимальных чисел, которые могут быть представлены сумматорами, по сравнению с величинами оснований МСС;

– низкая достоверность вычислений за счет ошибок, возникающих в процессе вычислений и за счет или в процессе переносов промежуточных значений поразрядного суммирования [9].

Схемная реализация МСС, как и вообще схемная реализация любой системы счисления, определяется не только логической спецификой, но и применяемым оборудованием и организацией этого оборудования. Большим резервом повышения надежности СОИУ является применение в ОУ матричных схем ПЗУ, ПЛМ и ПЛИС. Небольшая потребляемая мощность, повышенные надежностные характеристики матричных машин открывают широкие перспективы использования их в качестве основных элементов ОУ СОИУ. Из проведенных исследований очевидно, что вопросы, связанные с выполнением арифметических операций табличными методами (посредством ПЗУ) целесообразно рассматривать лишь в применении к СОИУ в МСС. Вопрос о том, применение какого метода позволяет получить наименьшее количество аппаратуры, не является однозначным. При применении методов специального кодирования информации в МСС, целью которых является сокращение таблиц ОУ, реализующих арифметические операции, количество оборудования ОУ при табличном построении может быть не больше количества оборудования при сумматорном методе построения ОУ СОИУ в МСС. Достоинства табличного варианта построения ОУ СОИУ в МСС:

– матричные схемы имеют довольно высокую надежность, так как реализуются в виде компактных ПЗУ; в этом случае весь тракт ОУ СОИУ строится по блочному принципу, что улучшает ремонтопригодность СОИУ (уменьшается время восстановления $T_в$);

– простота матричных схем и дешифраторов, имеющих количество выходов, соответствующих основанию МСС;

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

Под табличной реализацией $C_i = f(a_i, \beta_i)$ понимается организация такой таблицы, в которой каждой комбинации входных величин a_i и β_i соответствует одно и только одно значение выходной величины C_i. Пусть $[0, x)$ – диапазон изменения величины a_i, $[0, y)$ – диапазон изменения величины

β_i, $[0,z)$ – диапазон изменения величины C_i. В этом случае основные характеристики таблиц будут представляться следующим образом: $x^2 - z$ – избыточность таблицы; $\gamma_2 = \frac{z}{x^2}100\%$ – коэффициент использования таблицы; $w = \frac{x^2}{z}100\%$ – коэффициент избыточности таблицы.

Поиск путей упрощения структуры СОИУ обусловил необходимость построения алгоритмов реализации модульных операций, позволяющих повысить эффективность применения табличной арифметики.

Пусть задана пара операндов $A = (a_1,...,a_n)$ и $B = (\beta_1,...,\beta_n)$ в МСС с попарно взаимно простыми основаниями $m_1,...,m_n$. Необходимо реализовать в табличном варианте обобщенную модульную операцию $(A \otimes B) \bmod M$. В соответствии с правилами выполнения арифметических операций каждой паре остатков a_i и β_i ставится в соответствие величина $(a_i \otimes \beta_i) \bmod m_i$.Таким образом, весь машинный тракт вычислительной операции $(A \otimes B) \bmod M$ можно представить в виде n независимых однотипных ПЗУ.

В общем случае, при необходимости обработки информации в комплексной области с увеличением нормы $N = p^2 + q^2$ модуля таблицы модульных операций (для модуля $(m = p + iq)$ становится громоздким, что, естественно, приводит к увеличению оборудования вычислительного устройства и влияет на время реализации арифметических операций. На основании этого большой теоретический и практический интерес представляет задача информационного сжатия содержимого матриц основных модульных операций в МСС. Данная задача тесно связана с разработкой, как методов специального кодирования и синтеза специальных алгоритмов, совершенствующих структуру модульных таблиц, так и с формулировкой, разработкой и применением новых принципов, методов и алгоритмов реализации арифметических операций.

Сравнительно значительное количество оборудования СОИУ при ее реализации на основе ТП, а также ее существенные массо-габаритные характеристики, ограничивает сферу ее использования в некоторых специализированных АСУ. В этом аспекте необходимы и важны исследования путей использования иных принципов обработки информации в СОИ реального времени, функционирующих в МСС.

Если ТП и методы его реализации хорошо известны и довольно глубоко исследованы, то ПКС был предложен сравнительно недавно, поэтому для его широкого использования необходимо решить ряд задач, связанных с выбором рациональной структуры СОИУ. Это, что в свою очередь, непосредственно связано с разработкой и применением методов и алгоритмов обработки информации в МСС на основе ПКС.

В МСС операнд A представляется набором остатков от деления его на набор простых (в общем случае взаимно попарно простых) чисел $\{m_i\}$, $i = \overline{1,n}$, представляющий поле Галуа и являющиеся прямой суммой своих подполей, т.е. этот набор остатков можно отождествить непосредственно с суммой n-полей Галуа $\sum_{i=1}^{n} GF(m_i)$.

Известная теорема Кэли устанавливает изоморфизм между элементами конечной абелевой группы и элементами группы подстановок. Пусть G_n – циклическая группа (порядок которой равен n) с элементами $a_i \in G_n$, где a_i – нейтральный элемент $(i = \overline{0,n-1})$. В этом случае матрица сложения порядка n задана табл. 1. Одним из следствий теоремы Кэли является вывод о том, что отображение f_n группы G_n на группу всех целых чисел является гомоморфным. Ядром гомоморфизма f_n является группа всех целых чисел кратных n, т.е. числам вида $k \cdot n$ $(n = 0, \pm1, \pm2, ...)$. Вышеизложенное и позволяет организовать процесс определения результата выполнения модульной операции сложения и вычитания в МСС.

Таблица 1

Таблица Кэли произвольного порядка

G_n	a_0	a_1	$\cdots$	a_{n-2}	a_{n-1}
a_0	a_0	a_1	$\cdots$	a_{n-2}	a_{n-1}
a_1	a_1	a_2	$\cdots$	a_{n-1}	a_0
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$	$\vdots$
a_{n-2}	a_{n-2}	a_{n-1}	$\cdots$	a_{n-4}	a_{n-3}
a_{n-1}	a_{n-1}	a_0	$\cdots$	a_{n-3}	a_{n-2}

Будем рассматривать отображение некоторого множества M в себя $\{a_i\}$. Для таких конечных множеств все три класса отображений - инъекция, биекция и сюрьекция совпадают, т.е. каждая инъекция конечного множества в себя будет также и сюрьекцией, а каждая сюрьекция есть одновременно и инъекция.

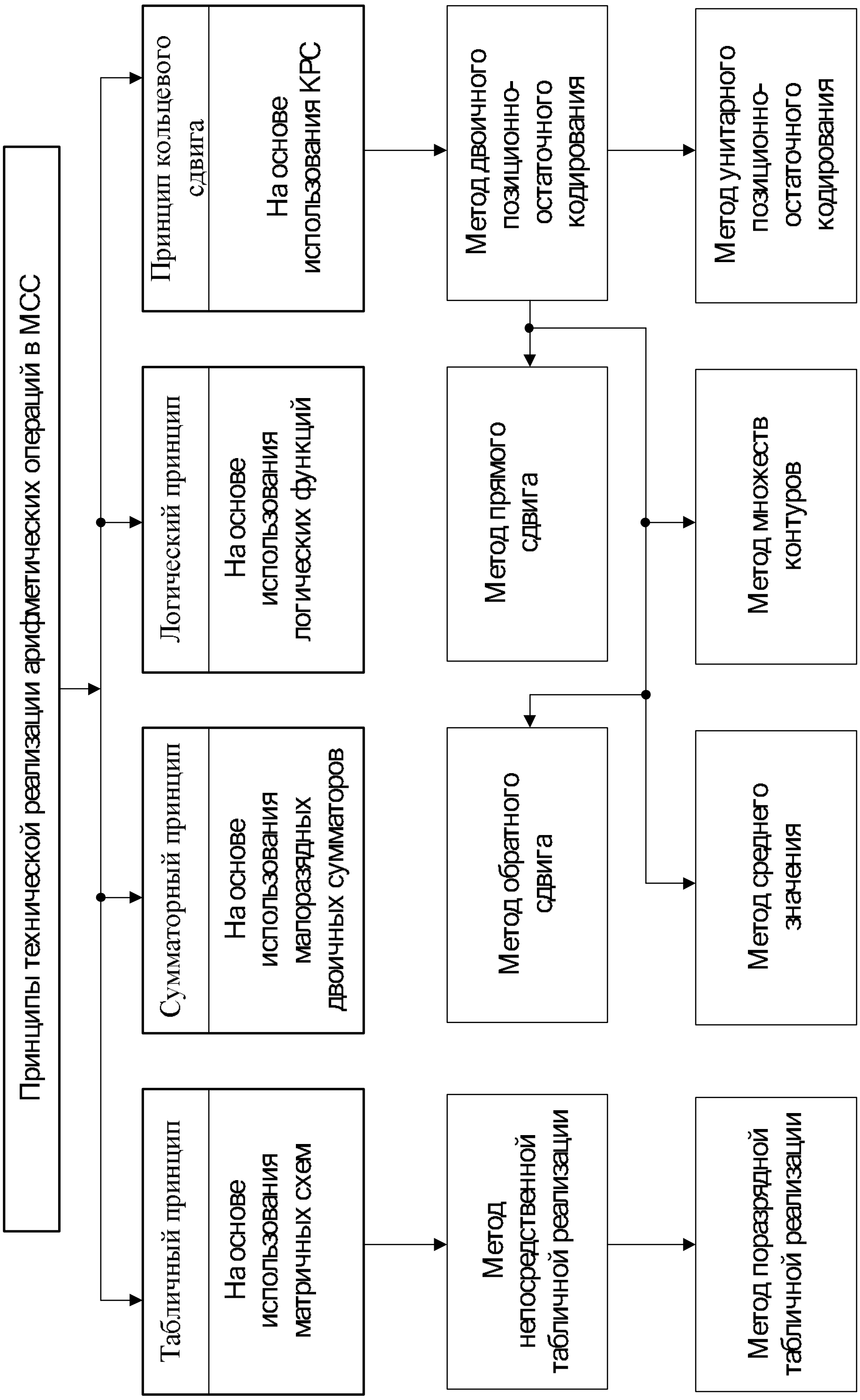

Рис. 1. Внутренняя диверсность методов технической реализации арифметических операций в МСС

Будем оперировать не с элементами множества $\{a_i\}$ $\left(a_i=\overline{0,n-1}\right)$, а с их номерами i $\left(i=\overline{1,n}\right)$. Тогда циклический сдвиг содержимого P_j $\left(j=\overline{0,n-1}\right)$ КРС можно представить в виде следующей перестановки

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & \ldots & n\text{-}1 & n \\ a_0 & a_1 & \ldots & a_{n\text{-}2} & a_{n\text{-}1} \end{pmatrix},$$

т.е. в виде биекций конечного множества $\{a_i\}$ на себя. Для каждого преобразования φ, соответствующего получению результата модульной операции $(a_i \otimes \beta_i) \bmod m_i$, можно рассмотреть его степени z.

Определение. Под степенью z преобразования в данной статье будем понимать произведение φ^z, т.е. $\underbrace{\varphi^0\ \varphi^0\ \ldots\ \varphi^0}_{z}$, где $\varphi^0=\varepsilon$ – преобразование, которое все элементы множества $\{a_i\}$ (содержимое разрядов КРС) оставляет на исходном месте. Так как сдвиг содержимого КРС можно осуществлять как в положительном, так и в отрицательном направлениях, то для произвольных биекций понятие степени z, можно обобщить на случай целых отрицательных чисел φ^{-z}, т.е. $\underbrace{\varphi^{-1}\ \varphi^{-1}\ \ldots\ \varphi^{-1}}_{z}=\left(\varphi^z\right)^{-1}$.

Отметим, что для каждой перестановки $\phi \in S(M)$ (M – конечное множество) найдется такое натуральное S, что $\varphi^s=\varepsilon$. Очевидно, что в случае использования принципа кольцевого сдвига $\varphi^{m_i}=\varepsilon$, где m_i – порядок перестановки φ. Степени циклической перестановки $(P_0\ P_0\ \ldots P_{n-1})$ исходного содержимого КРС (при двоичном представлении объектов) $P_{m_i}=\left[\log_2(m_i-1)+1\right]$ можно определить по формулам:

$$\begin{cases} \left(P_0 \| P_1 \| \ldots \| P_{n-1} \|\right)^z = \left(P_z \| P_{z+1} \| \ldots \| P_{n-1} \| P_0 \| \ldots \| P_{z-1} \|\right); \\ \left(P_0 \| P_1 \| \ldots \| P_{n-1} \|\right)^{-z} = \left(P_{n-z} \| P_{n-z+1} \| \ldots \| P_0 \| P_1 \| \ldots \| P_{n-z-1} \|\right); \\ \left(P_0 \| P_1 \| \ldots \| P_{m_i-1} \|\right)^{m_i} = \varepsilon. \end{cases}$$

Для заданной операции модульного сложения $(a_i+\beta_i) \bmod m_i$ (поле $GF(m_i)$ составим таблицу Кэли (табл. 2). Из существования нейтрального элемента в поле $GF(m_i)$ следует, что в табл. 2 есть строка (столбец), в которой элементы данного поля стоят в порядке возрастания. Из того факта, что в поле вычетов $GF(m_i)$ эти элементы различны (порядок группы равен m_i), следует, что в каждой строке (столбце) табл. 2 содержатся все элементы поля ровно по одному разу. Использование перечисленных свойств позволяет реализовать операции модульного сложения и вычитания в МСС путем применения принципа кольцевого сдвига посредством кольцевых $M=\left(\left[\log_2(m_i-1)+1\right]\right)$ – разрядных сдвигающих регистров. В этом случае исходное содержимое КСР для модуля m_i будет соответствовать содержимому нулевой строки (столбцу) табл. 2, рис. 2, где P_i – содержимое i-го разряда КСР в исходном состоянии; $N^{(k)}=\left\{P_k \| P_{k+1} \| \ldots \| P_{k-1} \|\right\}$ – содержимое КСР после проведения k – сдвигов в положительном (против часовой стрелки) направлении; $\|$ – операция конкатенации (склеивания) (см. рис. 2).

Таблица 2

Таблица Кэли для произвольного модуля m_i МА

β_i	a_i				
	0	1	2	…	m_i-1
0	0	1	2	…	m_i-1
1	1	2	3	…	0
2	2	3	4	…	1
…	…	…	…	…	…
m_i-1	m_i-1	0	1	…	m_i-2

Первый операнд a_i указывает на номер разряда p_i КСР, который определяет результат модульной операции $(a_i+\beta_i) \bmod m_i$, а второй операнд β_i – необходимое количество сдвигов содержимого разрядов КСР. Очевидно, что при применении ПКС существенно повышается достоверность определения арифметической операции модульного сложения за счет устранения ошибок, возникших как в процессе, так и за счет переносов в связи с отсутствием таковых (как и при табличном принципе) вообще.

Пусть произвольная алгебраическая система представлена в виде

$$S=\langle G, \otimes \rangle,$$

где G – непустое множество;

$\otimes$ – тип операции, определенной для любых двух элементов $a_i, \beta_i \in G$.

Операция сложения в множестве классов вычетов R, порожденных идеалом J, образует новое кольцо, называемое кольцом классов вычетов R/J. Его можно представить в виде z/m_i, где z – множество целых чисел $0, \pm 1, \pm 2, \ldots$; m_i – основание МСС. Если основание МСС m_i – простое число, то Z/m_i – поле. Данное обстоятельство, как указывалось выше, и обуславливает возможность реализации арифметической операции сложения в МСС без межразрядных переносов путем использования принципа кольцевого сдвига посредством применения КСР (см. рис. 2).

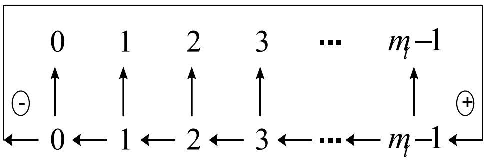

Рис. 2. Исходная информационная структура содержимого КРС для метода прямого сдвига

Пусть $m_i = 5$ $(S = \{0,1,2,3,4\}, \langle + \rangle)$. Тогда таблица значений модульной суммы $(a_i + \beta_i) \bmod m_i$ для кольца класса вычетов $Z/(S)$ представляется в виде числовых данных, например, первой строки (столбца) табл. 3, рис. 3, где знаком $(+)$ обозначено положительное (против часовой стрелки) направление сдвига содержимого разрядов КСР.

Таблица 3

Таблица значений $(a_i + \beta_i) \bmod 5$

β_i	a_i				
	0	1	2	3	4
0	0	1	2	3	4
1	1	2	3	4	0
2	2	3	4	0	1
3	3	4	0	1	2
4	4	0	1	2	3

В зависимости от формы представления содержимого разрядов КРС рассмотрим два метода реализации арифметических операций в МСС, основанные на использовании ПКС. Первый метод – метод двоичного позиционно-остаточного кодирования. Данный метод реализации арифметических операций основывается на представлении содержимого КРС в двоичном коде. Второй метод – метод унитарного позиционного кодирования. Этот метод реализации арифметических операций основывается на представлении содержимого КРС в унитарном коде.

Для данного метода реализации арифметических операций характерно то, что содержимое разрядов КРС представляется позиционным двоичным кодом (см. рис. 3 для модуля МСС равного пяти).

При этом первый операнд a_i – указывает номер разряда КСР, содержимое которого определяет результат данной операции, а второй операнд β_i указывает число сдвигов содержимого разрядов КСР.

Выводы

В статье рассмотрена внутренняя диверсность методов реализации арифметических операций в МСС. Показано, что при создании СОИУ ОКП использование МСС дает возможность более широко (в отличие от ПСС) осуществлять выбор системотехнических вариантов построения отдельных блоков и узлов систем обработки информации (см. рис.1, [13]).

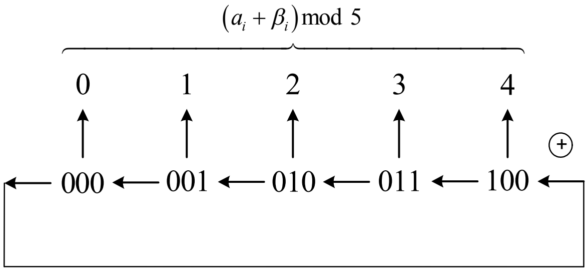

Рис. 3. Исходная информационная структура КРС для метода прямого сдвига ($m_i = 5$)

Литература

1. Илюшко В.М. Исследование влияния свойств модулярной арифметики на структуру и принципы функционирования систем обработки информации реального времени / В.М. Илюшко, Мохаммед Джасим Мохаммед, В.А. Краснобаев // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2005. – № 2(10). – С. 132 - 139.

2. Краснобаев В.А. Исследование влияния системы счисления на отказоустойчивость систем обработки цифровой информации / В.А. Краснобаев, Н.С. Деренько, О.В. Зефирова // Праці Таврійської державної агротехнічної академії: Наукове фахове видання. – Мелітополь, 2006. – Вип. 43. – С. 11-19.

3. Деренко М.С. Вибір і обгрунтування системи числення інформаційно-керуючого комплексу АСК ТП / М.С. Деренко, О.В. Зефірова, В.А. Краснобаєв // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. – Х.: ХНТУСГ, 2007. – Вип. 57. – Т. 2. – С. 87-91.

4. Методы и алгоритмы обработки информации в модулярной арифметике / Мохаммед Джасим Мохаммед, М.И. Луханин, В.А. Краснобаев, Н.С. Деренько // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. № 30. – С. 139-150.

5. Krasnobayev V.A. Method for Realization of Transformations in Public-Key Cryptography /

V.A. Krasnobayev // Telecommunications and Radio Engineering (USA). – 2007. – Vol. 66. – Issue 17. – P. 1559-1572.

6. Сиора А.А. Многоверсионный подход к реализации арифметических операций в системе обработки информации и управления критическими объектами на основе использования модулярной арифметики / А.А. Сиора // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІ НіУ, 2007. – Вип. 4. – С. 146-153.

7. Методы многоверсионной обработки информации в модулярной арифметике: Монография. / В.И. Барсов, В.А. Краснобаев, А.А. Сиора, И.В. Авдеев. – Х.: МОН УИПА, 2008. – 460 с.

8. Метод обработки информации в модулярной арифметике / Khery Ali Abdullax, О.В. Зефирова, А.А. Сиора, В.А. Краснобаев // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2008. – № 5 (32). – С. 51-56.

9. Зефірова О.В. Метод обробки інформації в модулярній арифметиці / О.В. Зефірова, О.А. Сіора, В.А. Краснобаєв // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. – Х.: ХНТУСГ, 2008. – Вип. 73. – Т. 2. – С. 46-48.

10. Технічна реалізація операцій складання і віднімання в модулярній арифметиці / К.В. Яськова, Хері Алі Абдуллах, М.С. Деренько, В.А. Краснобаєв // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. – Х.: ХНТУСГ, 2008. – Вип. 73. – Т. 2. – С. 49-51.

11. Краснобаев В.А. Влияние формы кодирования операндов на надежность систем обработки цифровой информации / В.А. Краснобаев // Труды Юбилейной Международной научно-технической конференции "50 лет модулярной арифметике" 23-25 ноября 2005. – М.: МИЭТ, 2005. – С. 350-361.

12. Повышение надежности высокопроизводительных процессоров в системе остаточных классов / С.А. Кошман, А.А. Сиора, Khery Ali Abdullax, В.А. Краснобаев // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2008. – № 7 (34). – С. 124-128.

13. Сиора А.А. Концепция создания отказоустойчивых систем обработки информации и управления критическими объектами на основе использования модулярной арифметики / А.А. Сиора // Системи обробки інформації: Збірник наукових праць. – Х: ХУПС, 2007. – Вип. 6. (27). – С. 28-35.

Поступила в редакцию 11.01.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой А.Ю. Соколов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

ВНУТРІШНЯ ДИВЕРСНІСТЬ РЕАЛІЗАЦІЇ АРИФМЕТИЧНИХ ОПЕРАЦІЙ У МОДУЛЯРНІЙ СИСТЕМІ СЧИСЛЕННЯ

О.А. Сіора, В.А. Краснобаєв

В статті сформульовано чотири принципи реалізації арифметичних операцій у модулярній системі счислення. (МСС). Розглянута внутрішня диверсність реалізації арифметичних операцій в МСС. Показано, що при створенні систем обробки інформації і управління об'єктами критичного застосування використання МСС дає можливість ширше (на відміну від позиційних систем числення) здійснювати вибір системотехнічних варіантів побудови окремих блоків і вузлів. Представлена сукупність методів технічної реалізації арифметичних операцій.

Ключові слова: модулярна система счислення, система обробки інформації та управління об'єктами критичного застосування, внутрішня диверсність, система обчислення в залишкових класах

INTERIOR DIVERSITY REALIZATION OF ARITHMETIC OPERATIONS IN MODULAR NUMBER SYSTEM

A.A. Siora, V.A. Krasnobayev

In the article four principles of arithmetical operations implementation in the modular notation (MN) are formulated. The internal is considered diversity realization of arithmetic operations in MN. It is shown that at creation of the systems of treatment of information and management the objects of critical application the use of MN is given by possibility it is more wide (unlike base notations) to carry out the choice of systems engineering variants of construction of separate blocks and knots.Set of methods of arithmetical operations technical implementation is presented.

Keywords: modular notation, critical control system, internal diversity, residual classes notation

Краснобаев Виктор Анатольевич – д-р техн. наук, проф. кафедры автоматизации и компьютерных технологий, Харьковский национальній технический университет сельского хозяйства им. Петра Василенка, Харьков, Украина, e-mail: krasnobaev_va@rambler.ru.

Сиора Александр Андреевич – канд. техн. наук, генеральный директор ЗАО "Радий", Кировоград, Украина, e-mail: marketing@radiy.com