УДК 681.04

Ю.Д. Полисский, канд. техн. наук,
НИИ автоматизации черной металлургии
(Украина, 49000, Днепропетровск,
тел. (056) 7443365, e-mail: polissky@mail.ru)

Об одном подходе к выполнению сложных операций в системе остаточных классов

Рассмотрен способ увеличения быстродействия операции определения принадлежности числа данной половине диапазона в системе остаточных классов. Предложено переупорядочение модулей на основе предварительной оценки вариантов упорядочения и выбора наилучшего варианта упорядочения на данной итерации.

Розглянуто спосіб збільшення швидкодії операції визначення приналежності числа даній половині діапазону в системі залишкових класів. Запропоновано переупорядковування модулів на основі попередньої оцінки варіантів впорядкування і вибору найкращого варіанта впорядкування на даній ітерації.

К л ю ч е в ы е   с л о в а: остаточные классы, сложные операции, модули, диапазон.

Создание эффективных вычислительных структур связано с параллельной обработкой данных системами с нетрадиционными способами кодирования информации, в частности системой счисления в остаточных классах (СОК) [1]. К достоинствам такого представления чисел относится взаимонезависимость разрядов чисел и возможность их параллельной обработки, малоразрядность остатков, высокая точность, способность системы к самокоррекции.

СОК называется система счисления, в которой произвольное число N представляется в виде набора наименьших неотрицательных остатков по модулям $m_1, m_2, ..., m_n$, т.е. $N = (\alpha_1, \alpha_2, ..., \alpha_n)$. Здесь $\alpha_i = N(\mathrm{mod}\, m_i)$. При этом, если числа m_i — взаимно простые, то такому представлению соответствует только одно число N диапазона $[0, M)$, где $M = m_1\ m_2 \ldots m_n$.

Основные арифметические операции в СОК делятся на модульные, — выполняемые параллельно и независимо над отдельными цифрами чисел, и немодульные, или сложные, — для выполнения которых необходимо знание цифр операндов по всем разрядам.

Модульные операции — это арифметические операции сложения, вычитания и умножения, выполняемые над остатками независимо одна от другой по простым правилам.

К немодульным операциям относятся, в частности, определение принадлежности числа данной половине диапазона, деление на два, определение принадлежности числа данному интервалу, деление на число, кратное одному из модулей, сравнение чисел, переполнение диапазона при сложении пары чисел, переполнение диапазона и определение ранга числа при умножении пары чисел, расширение диапазона представления чисел.

Между немодульными операциями существуют определенные взаимосвязи [2, 3]. Поэтому, получив решение одной из операций, можно найти решения остальных. Выбор базовой операции зависит от результатов исследований быстродействия и сложности немодульных операций СОК. В настоящее время получено эффективное решение по выполнению операции определения принадлежности числа данной половине диапазона [4], основанное на одновременном представлении чисел в прямом и обратном кодах с выбором активного представления на каждой итерации. В связи с этим представляется целесообразным принять базовой операцию определения принадлежности числа данной половине диапазона.

Постановка задачи и ее решение. Пусть $m_n = 2$. Будем отличать числа первой $R1$ и второй $R2$ половины диапазона:

$$N \in \begin{cases} R1, 0 \le N < M/2, \\ R2, M/2 \le N < M. \end{cases}$$

Пусть системой оснований полиадического кода является система $m_1, m_2, ..., m_n = 2$. Тогда число N в полиадическом коде имеет вид

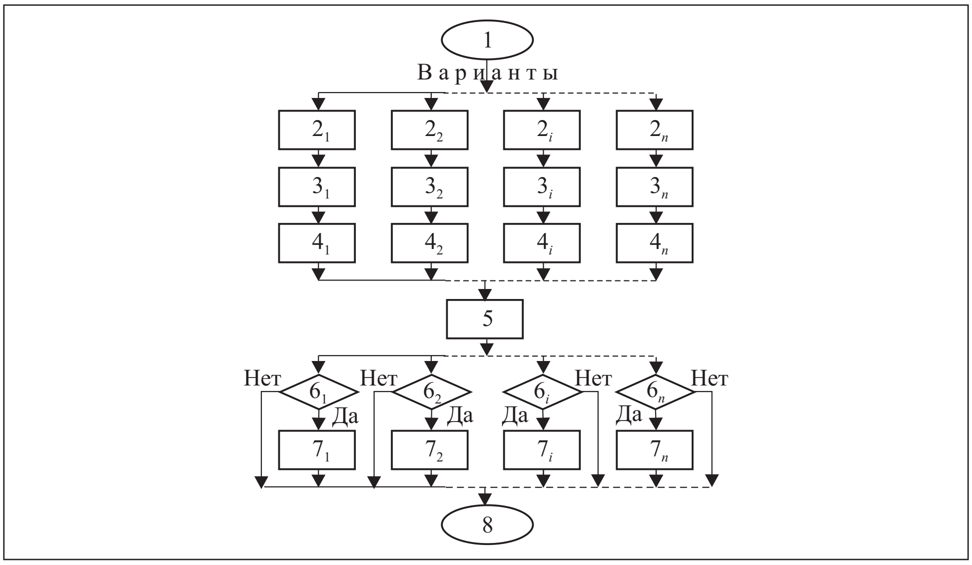
$$N = \pi_1 + \pi_2 m_1 + ... + \pi_i m_1 m_2 \; ... \; m_{i-1} + ... + \pi_{n-1} m_1 m_2 \; ... \; m_{n-2} + \pi_n m_1 m_2 \; ... \; m_{n-1},$$

где $0 \le \pi_i \le m_i - 1$. В соответствии с [5] критерием принадлежности числа данной половине диапазона является значение π_n:

$$N \in \begin{cases} R1, \ \pi_n = 0, \\ R2, \ \pi_n = 1. \end{cases}$$

Определение π_n осуществляется посредством последовательного вычитания из числа $N = (\alpha_1, \alpha_2, ..., \alpha_n)$, $\alpha_i = N \pmod{m_i}$ слагаемых этого числа в полиадическом коде, начиная с модуля m_1, до получения $\widetilde{N} = (0, 0, ..., 0, \widetilde{\alpha}_n)$. При этом $\pi_i = \left(\dfrac{\widetilde{\alpha}_t}{m_1 m_2 \; ... \; m_{t-1}} \right) (\mathrm{mod}\, t)$, а константы вычитания $\Delta_s = (\pi_t m_1 m_2 \; ... \; m_{t-1}) (\mathrm{mod}\, s)$, $s = t, \ t+1, \ ..., \ n$. При фиксированной упорядоченности $m_1, m_2, ..., m_n = 2$ можно составить таблицы предварительно рассчитанных констант, что сократит время определения π_i.

Среди чисел диапазона $[0, M)$ имеются числа, кратные одному или нескольким модулям. Количество чисел, кратных модулю m_i, $i = 1, 2, ..., n$,



Блок-схема алгоритма: *1* — начало; *2* — образование числа $N_i = N - \alpha_i$, $i = 1, 2, ..., n-1$; *3* — переупорядочение модулей в каждом из N_i, $i = 1, 2, ..., n-1$; *4* — подсчет количества S_i нулевых остатков в каждом из N_i, $i = 1, 2, ..., n-1$; 5 — определение $S_{\max} = \max\{S_i\}$, $i = 1, 2, ..., n-1$; *6* — сравнение S_i с $S_{\max}$, выход «да» при $S_i = S_{\max}$; *7* — включение *i*-го варианта упрядочения модулей в набор вариантов для следующей итерации; *8* — конец

составляет $K_i = M / m_i$. Например, в системе модулей $m_1 = 13, m_2 = 7, m_3 = 11,$ $m_4 = 5,$ $m_5 = 3,$ $m_6 = 2$ количество чисел, для которых одно или несколько значений $\alpha_i = 0,$ $i \neq n,$ $K = K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5 = 25346$ из 30030 чисел диапазона. В связи с таким значительным количеством чисел (84% диапазона), для которых $\alpha_i = 0,$ $i \neq n$, с целью сокращения длительности операции определения принадлежности числа данной половине диапазона представляется целесообразным следующий подход.

Порядок модулей, кроме $m_n = 2$, не фиксируется. При этом на каждой итерации осуществляется переупорядочение модулей таким образом, чтобы их последовательность начиналась с модулей, для которых $\alpha_i = 0$. Выигрыш во времени достигается в результате того, что по этим модулям не требуется определения позиционных характеристик, так как они равны нулю.

Рассмотрим работу алгоритма (см. рисунок) на примере определения принадлежности первой или второй половине диапазона $M = 13 \times 7 \times 11 \times$ $\times 5 \times 3 \times 2 = 30030$ числа $N = 17893 = (5, 1, 7, 3, 1, 1)$ для системы модулей $m_1 = 13,$ $m_2 = 7,$ $m_3 = 11,$ $m_4 = 5,$ $m_5 = 3,$ $m_6 = 2.$

В табл. 1 приведены варианты упорядочения модулей на первой итерации, где П — упорядоченность модулей. Для каждого варианта в первой строке — испытуемое уменьшаемое число и его представление в системе модулей $m_1 = 13,\ m_2 = 7,\ m_3 = 11,\ m_4 = 5,\ m_5 = 3,\ m_6 = 2$. Во второй строке — вычитаемый остаток и его представление в той же системе модулей. В третьей строке — результат вычитания и его представление в той же системе модулей. В четвертой строке — новая упорядоченность модулей.

Как видно из табл. 1, для второй итерации целесообразно выбрать вариант 2,

$$\text{П21} \to \begin{Bmatrix} m_1 = 7,\ m_2 = 3,\ m_3 = 13,\ m_4 = 11,\ m_5 = 5,\ m_6 = 2 \\ \tilde{\alpha}_1 = 0,\ \tilde{\alpha}_2 = 0,\ \tilde{\alpha}_3 = 4,\ \tilde{\alpha}_4 = 6,\ \tilde{\alpha}_5 = 2,\ \tilde{\alpha}_6 = 0 \end{Bmatrix},$$

вариант 3,

$$\text{П31} \to \begin{Bmatrix} m_1 = 11,\ m_2 = 3,\ m_3 = 13,\ m_4 = 7,\ m_5 = 5,\ m_6 = 2 \\ \tilde{\alpha}_1 = 0,\ \tilde{\alpha}_2 = 0,\ \tilde{\alpha}_3 = 11,\ \tilde{\alpha}_4 = 1,\ \tilde{\alpha}_5 = 1,\ \tilde{\alpha}_6 = 0 \end{Bmatrix}$$

Таблица 1

Вариант	П	Число	$m_6 = 2$	$m_5 = 3$	$m_4 = 5$	$m_3 = 11$	$m_2 = 7$	$m_1 = 13$
1	П01	17 893	1	1	3	7	1	5
		–5	1	2	0	5	5	5
		17 888	0	2	3	2	3	0
	П11		$m_6 = 2$	$m_5 = 3$	$m_4 = 5$	$m_3 = 11$	$m_2 = 7$	$m_1 = 13$
2		17 893	1	1	3	7	1	5
		–1	1	1	1	1	1	1
		17 892	0	0	2	6	0	4
	П21		$m_6 = 2$	$m_5 = 5$	$m_4 = 11$	$m_3 = 13$	$m_2 = 3$	$m_1 = 7$
3		17 893	1	1	3	7	1	5
		–7	1	1	2	7	0	7
		17 886	0	0	1	0	1	11
	П31		$m_6 = 2$	$m_5 = 5$	$m_4 = 7$	$m_3 = 13$	$m_2 = 3$	$m_1 = 11$
4		17 893	1	1	3	7	1	5
		–3	1	0	3	3	3	3
		17 890	0	1	0	4	5	2
	П41		$m_6 = 2$	$m_5 = 3$	$m_4 = 11$	$m_3 = 7$	$m_2 = 13$	$m_1 = 5$
5		17 893	1	1	3	7	1	5
		–1	1	1	1	1	1	1
		17 892	0	0	2	6	0	4
	П51		$m_6 = 2$	$m_5 = 5$	$m_4 = 11$	$m_3 = 13$	$m_2 = 3$	$m_1 = 7$

или вариант 5,

$$\Pi 51 \to \begin{Bmatrix} m_1 = 7, \ m_2 = 3, \ m_3 = 13, \ m_4 = 11, \ m_5 = 5, \ m_6 = 2 \\ \tilde{\alpha}_1 = 0, \ \tilde{\alpha}_2 = 0, \ \tilde{\alpha}_3 = 4, \ \tilde{\alpha}_4 = 6, \ \tilde{\alpha}_5 = 2, \ \tilde{\alpha}_6 = 0 \end{Bmatrix},$$

так как они дают большее количество нулей. Поскольку варианты 2 и 5 совпадают, выбираем варианты 2 и 3 упорядочения модулей.

Переходим к табл. 2, где блок А означает результаты второго варианта упорядочения модулей, полученные на первой итерации:

$$\Pi 21 \to \begin{Bmatrix} m_1 = 7, \ m_2 = 3, \ m_3 = 13, \ m_4 = 11, \ m_5 = 5, \ m_6 = 2 \\ \tilde{\alpha}_1 = 0, \ \tilde{\alpha}_2 = 0, \ \tilde{\alpha}_3 = 4, \ \tilde{\alpha}_4 = 6, \ \tilde{\alpha}_5 = 2, \ \tilde{\alpha}_6 = 0 \end{Bmatrix}.$$

Б л о к А. По варианту 1 упорядочения модулей второй итерации для $m_3 = 13$

$$\pi_3 = \left(\frac{\tilde{\alpha}_3 = 4}{(m_1 = 7)(m_2 = 3)} \right) (\mathrm{mod}\, m_3 = 13) = 7.$$

Константы вычитания:

$$\Delta = \pi_3 m_1 m_2 = 7 \times 7 \times 3 = 147,$$

$$\Delta_3 = \Delta\,(\mathrm{mod}\, m_3 = 13) = 4, \ \ \Delta_5 = \Delta\,(\mathrm{mod}\, m_5 = 5) = 2\,,$$

$$\Delta_4 = \Delta\,(\mathrm{mod}\, m_4 = 11) = 4, \ \Delta_6 = \Delta\,(\mathrm{mod}\, m_6 = 2) = 1\,.$$

Таблица 2

Вариант	Блок А	Число	$m_6 = 2$	$m_5 = 5$	$m_4 = 11$	$m_3 = 13$	$m_2 = 3$	$m_1 = 7$
1	П21	17 892	0	2	6	4	0	0
		–147	1	2	4	4	—	—
		17 745	1	0	2	0	0	0
	П12А		$m_6 = 2$	$m_5 = 11$	$m_4 = 5$	$m_3 = 13$	$m_2 = 3$	$m_1 = 7$
2	П21	17 892	0	2	6	4	0	0
		–105	1	0	6	1	—	—
		17 787	1	2	0	3	0	0
	П22А		$m_6 = 2$	$m_5 = 5$	$m_4 = 13$	$m_3 = 11$	$m_2 = 3$	$m_1 = 7$
3	П21	17 892	0	2	6	4	0	0
		– 42	0	2	9	3	—	—
		17 850	0	0	8	1	0	0
	П32А		$m_6 = 2$	$m_5 = 11$	$m_4 = 13$	$m_3 = 5$	$m_2 = 3$	$m_1 = 7$

По варианту 2 упорядочения модулей второй итерации для $m_4 = 11$

$$\pi_4 = \left(\frac{\widetilde{\alpha}_4 = 6}{(m_1 = 7)(m_2 = 3)}\right)(\mathrm{mod}\, m_4 = 11) = 5.$$

Константы вычитания:

$$\Delta = \pi_4 m_1 m_2 = 5 \times 7 \times 3 = 105,$$

$$\Delta_3 = \Delta\,(\mathrm{mod}\, m_3 = 13) = 1,\;\; \Delta_5 = \Delta\,(\mathrm{mod}\, m_5 = 5) = 0\,,$$

$$\Delta_4 = \Delta\,(\mathrm{mod}\, m_4 = 11) = 6,\; \Delta_6 = \Delta\,(\mathrm{mod}\, m_6 = 2) = 1\,.$$

По варианту 3 упорядочения модулей второй итерации для $m_5 = 5$

$$\pi_5 = \left(\frac{\widetilde{\alpha}_5 = 2}{(m_1 = 7)(m_2 = 3)}\right)(\mathrm{mod}\, m_5 = 5) = 2.$$

Константы вычитания:

$$\Delta = \pi_5 m_1 m_2 = 2 \times 7 \times 3 = 42,$$

$$\Delta_3 = \Delta\,(\mathrm{mod}\, m_3 = 13) = 3,\;\; \Delta_5 = \Delta\,(\mathrm{mod}\, m_5 = 5) = 2\,,$$

$$\Delta_4 = \Delta\,(\mathrm{mod}\, m_4 = 11) = 9,\;\; \Delta_6 = \Delta\,(\mathrm{mod}\, m_6 = 2) = 0\,.$$

Таблица 3

Вариант	Блок В	Число	$m_6 = 2$	$m_5 = 5$	$m_4 = 7$	$m_3 = 13$	$m_2 = 3$	$m_1 = 11$
1	П31	17 886	0	1	1	11	0	0
		–297	1	2	3	11	—	—
		17 589	1	4	5	0	0	0
	П12 Б		$m_6 = 2$	$m_5 = 5$	$m_4 = 7$	$m_3 = 13$	$m_2 = 3$	$m_1 = 11$
2	П31	17 886	0	1	1	11	0	0
		–99	1	4	1	8	—	—
		17 787	1	2	0	3	0	0
	П22 Б		$m_6 = 2$	$m_5 = 5$	$m_4 = 13$	$m_3 = 7$	$m_2 = 3$	$m_1 = 11$
3	П31	17 886	0	1	1	11	0	0
		–66	0	1	3	1	—	—
		17 820	0	0	5	10	0	0
	П32 Б		$m_6 = 2$	$m_5 = 7$	$m_4 = 13$	$m_3 = 5$	$m_2 = 3$	$m_1 = 11$

В табл. 3 блок Б означает результаты третьего варианта упорядочения модулей, полученные на первой итерации:

$$\text{П31} \to \begin{Bmatrix} m_1 = 11, \ m_2 = 3, \ m_3 = 13, \ m_4 = 7, \ m_5 = 5, \ m_6 = 2 \\ \tilde{\alpha}_1 = 0, \ \tilde{\alpha}_2 = 0, \ \tilde{\alpha}_3 = 11, \ \tilde{\alpha}_4 = 1, \ \tilde{\alpha}_5 = 1, \ \tilde{\alpha}_6 = 0 \end{Bmatrix}.$$

Б л о к Б. По варианту 1 упорядочения модулей второй итерации для $m_3 = 13$

$$\pi_3 = \left(\frac{\tilde{\alpha}_3 = 11}{(m_1 = 11)(m_2 = 3)} \right) (\text{mod}\, m_3 = 13) = 9.$$

Константы вычитания:

$$\Delta = \pi_3 m_1 m_2 = 9 \times 11 \times 3 = 297,$$

$$\Delta_3 = \Delta\,(\text{mod}\, m_3 = 13) = 11, \ \ \Delta_5 = \Delta\,(\text{mod}\, m_5 = 5) = 2,$$

$$\Delta_4 = \Delta\,(\text{mod}\, m_4 = 7) = 3, \ \ \Delta_6 = \Delta\,(\text{mod}\, m_6 = 2) = 1.$$

По варианту 2 упорядочения модулей второй итерации для $m_4 = 7$

$$\pi_4 = \left(\frac{\tilde{\alpha}_4 = 1}{(m_1 = 11)(m_2 = 3)} \right) (\text{mod}\, m_4 = 7) = 3.$$

Константы вычитания:

$$\Delta = \pi_3 m_1 m_2 = 3 \times 11 \times 3 = 99,$$

$$\Delta_3 = \Delta\,(\text{mod}\, m_3 = 13) = 8, \ \ \Delta_5 = \Delta\,(\text{mod}\, m_5 = 5) = 4,$$

$$\Delta_4 = \Delta\,(\text{mod}\, m_4 = 7) = 1, \ \ \Delta_6 = \Delta\,(\text{mod}\, m_6 = 2) = 1.$$

По варианту 3 упорядочения модулей второй итерации для $m_5 = 5$

$$\pi_5 = \left(\frac{\tilde{\alpha}_5 = 1}{(m_1 = 11)(m_2 = 3)} \right) (\text{mod}\, m_5 = 5) = 2.$$

Константы вычитания:

$$\Delta = \pi_5 m_1 m_2 = 2 \times 11 \times 3 = 66,$$

$$\Delta_3 = \Delta\,(\text{mod}\, m_3 = 13) = 1, \ \ \Delta_5 = \Delta\,(\text{mod}\, m_5 = 5) = 1,$$

$$\Delta_4 = \Delta\,(\text{mod}\, m_4 = 7) = 3, \ \ \Delta_6 = \Delta\,(\text{mod}\, m_6 = 2) = 0.$$

В соответствии с табл. 2 имеются шесть вариантов упорядочения модулей:

$$\text{П12 Блок А} \to \begin{Bmatrix} m_1 = 7, \ m_2 = 3, \ m_3 = 13, \ m_4 = 5, \ m_5 = 11, \ m_6 = 2 \\ \tilde{\alpha}_1 = 0, \tilde{\alpha}_2 = 0, \tilde{\alpha}_3 = 0, \tilde{\alpha}_4 = 0, \tilde{\alpha}_5 = 2, \tilde{\alpha}_6 = 1 \end{Bmatrix},$$

$$\text{П22 Блок А} \to \begin{Bmatrix} m_1 = 7,\ m_2 = 3,\ m_3 = 11,\ m_4 = 13,\ m_5 = 5,\ m_6 = 2 \\ \tilde{\alpha}_1 = 0,\ \tilde{\alpha}_2 = 0,\ \tilde{\alpha}_3 = 0,\ \tilde{\alpha}_4 = 3,\ \tilde{\alpha}_5 = 2,\ \tilde{\alpha}_6 = 1 \end{Bmatrix},$$

$$\text{П32 Блок А} \to \begin{Bmatrix} m_1 = 7,\ m_2 = 3,\ m_3 = 5,\ m_4 = 13,\ m_5 = 11,\ m_6 = 2 \\ \tilde{\alpha}_1 = 0,\ \tilde{\alpha}_2 = 0,\ \tilde{\alpha}_3 = 0,\ \tilde{\alpha}_4 = 1,\ \tilde{\alpha}_5 = 8,\ \tilde{\alpha}_6 = 0 \end{Bmatrix},$$

$$\text{П12 Блок Б} \to \begin{Bmatrix} m_1 = 11,\ m_2 = 3,\ m_3 = 13,\ m_4 = 7,\ m_5 = 5,\ m_6 = 2 \\ \tilde{\alpha}_1 = 0,\ \tilde{\alpha}_2 = 0,\ \tilde{\alpha}_3 = 0,\ \tilde{\alpha}_4 = 5,\ \tilde{\alpha}_5 = 4,\ \tilde{\alpha}_6 = 1 \end{Bmatrix},$$

$$\text{П22 Блок Б} \to \begin{Bmatrix} m_1 = 11,\ m_2 = 3,\ m_3 = 7,\ m_4 = 13,\ m_5 = 5,\ m_6 = 2 \\ \tilde{\alpha}_1 = 0,\ \tilde{\alpha}_2 = 0,\ \tilde{\alpha}_3 = 0,\ \tilde{\alpha}_4 = 3,\ \tilde{\alpha}_5 = 2,\ \tilde{\alpha}_6 = 1 \end{Bmatrix},$$

$$\text{П32 Блок Б} \to \begin{Bmatrix} m_1 = 11,\ m_2 = 3,\ m_3 = 5,\ m_4 = 13,\ m_5 = 7,\ m_6 = 2 \\ \tilde{\alpha}_1 = 0,\ \tilde{\alpha}_2 = 0,\ \tilde{\alpha}_3 = 0,\ \tilde{\alpha}_4 = 12,\ \tilde{\alpha}_5 = 5,\ \tilde{\alpha}_6 = 0 \end{Bmatrix}.$$

Для третьей итерации целесообразно выбрать вариант 1 упорядочения модулей на второй итерации блока А:

$$\text{П12 Блок А} \to \begin{Bmatrix} m_1 = 7,\ m_2 = 3,\ m_3 = 13,\ m_4 = 5,\ m_5 = 11,\ m_6 = 2 \\ \tilde{\alpha}_1 = 0,\ \tilde{\alpha}_2 = 0,\ \tilde{\alpha}_3 = 0,\ \tilde{\alpha}_4 = 0,\ \tilde{\alpha}_5 = 2,\ \tilde{\alpha}_6 = 1 \end{Bmatrix},$$

так как он дает большее количество нулей.

В табл. 4 приведен вариант упорядочения модулей на третьей итерации, где для $m_5 = 11$

$$\pi_5 = \left(\frac{\tilde{\alpha}_5 = 2}{(m_1 = 7)(m_2 = 3)(m_3 = 13)(m_4 = 5)} \right) (\mathrm{mod}\ m_5 = 11) = 2\,.$$

Константы вычитания:

$$\Delta = \pi_5 m_1 m_2 m_3 m_4 = 2 \times 7 \times 3 \times 13 \times 5 = 2730,$$

$$\Delta_5 = \Delta(\mathrm{mod}\ m_5 = 11) = 2\,,\ \Delta_6 = \Delta(\mathrm{mod}\ m_6 = 2) = 0\,.$$

Для $m_6 = 2$

$$\pi_6 = \left(\frac{\tilde{\alpha}_6 = 1}{(m_1 = 7)(m_2 = 3)(m_3 = 13)(m_4 = 5)(m_5 = 11)} \right) (\mathrm{mod}\ m_6 = 2) = 1.$$

Таблица 4

Вариант	Блок А	Число	$m_6 = 2$	$m_5 = 11$	$m_4 = 5$	$m_3 = 13$	$m_2 = 3$	$m_1 = 7$
1	П12	17 745	1	2	0	0	0	0
		–2 730	0	2	—	—	—	—
		15 015	1	0	0	0	0	0
	П13		$m_6 = 2$	$m_5 = 11$	$m_4 = 5$	$m_3 = 13$	$m_2 = 3$	$m_1 = 7$

Поскольку $\pi_6 = 1$, число $N = 17893 = (5,1,7,3,1,1)$ в исходной системе модулей $m_1 = 13$, $m_2 = 7$, $m_3 = 11$, $m_4 = 5$, $m_5 = 3$, $m_6 = 2$ принадлежит второй половине диапазона $[0, M)$. Действительно, $M/2 = 15015 < N = 17893 < M = 30030$. Результат получен за три итерации.

Как упомянуто выше, выигрыш во времени обусловлен тем, что по модулям, остатки по которым равны нулю, не требуется определения позиционных характеристик, так как они равны нулю. Однако для получения констант вычитания по остальным модулям вместо выборки из таблиц предварительно рассчитанных констант необходимо выполнение приведенных вычислений $\pi_t = \left(\dfrac{\alpha_t}{m_1 m_2 \ldots m_{t-1}}\right)(\mathrm{mod}\, t)$ и $\Delta_s = (\pi_t m_1 m_2 \ldots m_{t-1})(\mathrm{mod}\, s)$, $s = t, t+1, \ldots, n$. Поэтому предложенный подход следует рассматривать как одно из направлений ускорения определения принадлежности числа данной половине диапазона, которое требует дальнейших исследований.

Выводы

Между сложными операциями системы остаточных классов существуют определенные взаимосвязи, поэтому, получив решение одной из операций, можно найти решения остальных. Предложенный подход к увеличению быстродействия операции определения принадлежности числа данной половине диапазона в системе остаточных классов основан на переупорядочении модулей с предварительной оценкой вариантов упорядочения и выбором наиболее предпочтительного варианта упорядочения на данной итерации. Представляется целесообразным применить предложенный подход в качестве направления исследований для получения эффективных решений задач выполнения немодульных операций. Полученные результаты могут быть использованы для разработки патентноспособных и несложных решений в системе остаточных классов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Акушский И.Я., Юдицкий Д.И.* Машинная арифметика в остаточных классах.— М. : Сов. радио, 1968. — 440 с.
2. *Полисский Ю.Д.* Формирование позиционных характеристик при табличной реализации алгоритмов системы остаточных классов // Сб. тр. конф. «Моделирование — 2008». Т. 2. — Киев: ИПМЭ, 2008. — С. 489—495.
3. *Полисский Ю.Д.* О взаимосвязи немодульных операций в системе остаточных классов // Математичне моделювання. — 2014. — № 2 (31). — С. 3—6.
4. *Полисский Ю.Д.* Алгоритм выполнения сложных операций в системе остаточных классов с помощью представления чисел в обратных кодах // Электрон. моделирование. — 2014. — **36**, № 4. — С. 117—122.
5. *Полисский Ю.Д.* Выбор критерия принадлежности числа данной половине диапазона в системе остаточных классов // Проблеми математичного моделювання. Матеріали наук.-метод. конф., 27—29 трав. 2015 р. — Дніпропетровськ, 2015. — С. 91—92.

Yu.D. Polissky

ABOUT ONE APPROACH TO EXECUTION OF COMPLICATED OPERATIONS IN THE SYSTEM OF RESIDUAL CLASSES

A method is considered for increasing the speed of response of the operation of determining a number belonging to the given half of range in the system of residual classes. The approach is based on reordering of modules with the preliminary estimation of variants of ordering and choice of the most preferable variant of ordering on this iteration. Thus the estimation of the variant of ordering consists in the subtraction from every remainder of a certain constant and in the count of quantity of the obtained zero residuals. The variant with the greatest quantity of modules, which residuals are equal to zero, are most preferable.

K e y w o r d s: residual classes, complicated operations, modules, range.

REFERENCES

1. Akushskiy, I.Ya. and Yuditskiy, D.I. (1968), *Mashinnaya arifmetika v ostatochnykh klassov* [Machine arithmetic in the residual classes], Sov. radio, Moscow, Russia.
2. Polissky, Yu.D. (2008), "Forming of position descriptions during tabular realization of algorithms of the system of residual classes", *Sbornik trudov konferentsii "Modelirovanie-2008*" [Conference proceedings «Simulation-2008»], Vol. 2, Kiev, IPME, May, 14-16, 2008, pp. 489-495.
3. Polissky, Yu.D. (2014), "About intercommunication of unmodule operations in the system of residual classes", *Matematychne modelyuvannya,* no. 2 (31), pp. 3-6.
4. Polissky, Yu.D. (2014), "Algorithm of implementation of complex operations in the system of residual classes with the help of numbers presentation in reverse codes", *Elektronnoe modelirovanie*, Vol. 36, no. 4, pp. 117-122.
5. Polissky, Yu.D. (2015), "Choice of criterion of belonging of number to this half of range in the system of residual classes", *Problemy matematychnoho modelyuvannya. Materialy naukovo-metodychnoi konferentsii* [Problems of mathematical modeling. Proc. of scientific-methodical conference], Dnepropetrovsk, May, 27-29, 2015, pp. 91-92.

Поступила 03.07.15;
после доработки 14.09.15

ПОЛИССКИЙ Юрий Давидович, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. Научно-исследовательского ин-та автоматизации черной металлургии, г. Днепропетровск. В 1960 г. окончил Днепропетровский металлургический ин-т. Область научных исследований — системы и средства управления.