A. R. Mukhutdinov[1], Professor, e-mail: muhutdinov@rambler.ru,
Z. R. Vahidova[2], Associate Professor, e-mail: MRZulphiya@rambler.ru,
M. G. Efimov[1], Graduate Student, e-mail: jero07@bk.ru
[1]KNRTU,
[2]KNRTU-KAI

Computer Modelling of Brisant Action of Explosion

In this article the developed and fulfilled technique of creation of computer model of brisant action of explosion for sinking of the lead cylinder (Ness's test) is presented to ANSYS AUTODYN. Comparative studying of results of modeling and experiment is carried out: shattering effects of secondary explosives of the increased power. It is shown that the computer model allows to predict brisant action of explosion with a mistake to 7 %; dependences of shattering effect of trotyl on density of its charge. It is shown that the computer model allows to predict brisant action of explosion (Hess's test) with a mistake to 3 %. It is established that character of the curve received on the basis of computer model differs from the curve constructed on experimental data which fixes sharp deviations (for 17 %) in the range of density of 1,3...1,5 g/cm^3.

Keywords: *computer model, shattering effect, operational parameters, explosives.*

References

1. **Baum F. A., Stanjukovich K. P., Shehter B. I.** *Fizika vzryva*, Moscow, Nauka, 1975, 752 p.
2. **Andreev S. G., Babkin A. B., Baum F. A.** et al. *Fizika vzryva*. Izd. 3-e, ispr. Vol. 1. Moskva, Nauka, 2004, 832 p.
3. **Miropol'skij F. P., Kuznecov V. V., Sarkisjan R. S., Galushko B. I.** *Aviacionnye sredstva porazheniia*, Moscow, Voennoe izdatel'stvo, 1995, 255 p.
4. **Andreev K. K.** *Vzryv i vzryvchatye veshhestva,* Moscow, Voennoe Ministerstvo Oborony SSSR, 1956, 112 p.
5. **Andreev K. K., Beljaev A. F.** Teorija vzryvchatyh veshhestv, Moscow, Oborongiz, 1960, 597 p.
6. **Dubnov L. V., Baharevich N. S., Romanov A. I.** *Promyshlennye vzryvchatye veshhestya*. Moscow, Nedra, 1988, 358 p.
7. **Shagov Ju. V.** Vzryvchatye veshhestva i poroha. Moscov, Voeniadat, 1976, 120 p.
8. **Pirospravka.** *Spravochnik po vzryvchatym veshhestvam, poroham i pirotehnicheskim sostavam*, Moscow, 2012, 182 p.
9. **Budnikov M. A., Levkovich H. L., Bystrov I. V., Sirotinskij V. F., Shehter B. I.** *Vzryvchatye veshhestva i poroha*. Moscow: Gosudarstvennoe izdatel'stvo oboronnoj promyshlennosti, 1955, 109 p.
10. **Muhutdinov A. R., Vahidova Z. R., Efimov M. G.** Modelirovanie processa gorenijalverdogo topliva v topochnom ustrojstve, *Vestnik Kazan, tehnol. un-ta*, 2014, vol. 17, no. 20, pp. 114—116.
11. **Muhutdinov A. R., Vahidova Z. R., Dvoenosova M. V.** Issledovanie osobennosti gorenija frezernogo torfa nejrosetevym modelirovaniem, Ves*tnik Kazan. tehnol. un-ta,* 2014, vol. 17, no. 22, pp. 55—57.
12. **Muhutdinov A. R., Vahidova Z. R.** Rezul'taty izuchenija kartiny processa gorenija tverdogo topliva s ispol'zovaniem informacionnyh tehnologij, *Vestnik Kazan. tehnol. un-ta,* 2013, vol. 16, no. 3, pp. 69—72.
13. **Hmel'nickij L. I.** *Spravochnik po brizantnym vzryvchatym veshestvam*, Chast' 1. Moscow, 1962, 44 p.
14. **Gorst A. G.** *Poroha i vzryvchatye veshhestva*, Moscow, Mashinostroenie, 1972, 208 p.
15. **Vzryvchatye** *veshhestva VV, klassifikacija.* URL: http://www.eragun.org/ind14.html.

УДК 004.36

С. А. Инютин, д-р техн. наук, проф., e-mail: inyutin_int@mail.ru,
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) (МАИ)

Метод вычисления количественной характеристики модулярной величины

Разработан итерационный метод вычисления количественной характеристики отношения порядка для компьютерных модулярных форматов данных в параллельных реконфигурируемых вычислительных системах. Количественная характеристика предназначена для выполнения немодульных операций в параллельной компьютерной арифметике. Итерационный метод позволяет получить характеристику с использованием дополнительного оборудования с минимальной разрядностью при квадратичной сложности вычислительного алгоритма.

Ключевые слова: *многопроцессорные реконфигурируемые системы, вычислительный процесс, сложность вычисления, модулярные компьютерные форматы, числовые характеристики*

Введение

Для программного инструментария, позволяющего выполнять вычисления над целочисленными данными, принадлежащими сверхбольшим компьютерным диапазонам, необходима разработка теоретической базы или специальной компьютерной арифметики, использующей множество-носитель с модулярными представлениями числовых данных [1, 2]. Такая арифметика над соответствующими типами данных позволяет организовать распараллеливание вычислительного процесса на множество реальных или моделируемых процессорных элементов (ядер), на которых выполняются вычисления по отдельным вычислительным трактам (модулям) в вычислительных SIMD- и SIMP-архитектурах [3]. В специализированной компьютерной арифметике в базисных или производных форматах отображаются векторы с компонентами, являющимися вычетами числовых величин по простым или взаимно простым модулям [4]. Вычеты можно считать модульными разрядами модулярного представления числовой величины.

Определим компьютерную модулярную арифметику как множество форматов модулярных данных, способ введения арифметического операционного диапазона, алгоритмы выполнения модульных операций, методы вычисления количественной характеристики отношения порядка для модулярных представлений числовых величин, а также методы и алгоритмы выполнения немодульных операций [5].

Достоинством модулярной арифметики является то, что аддитивные и мультипликативные операции в модулярной компьютерной арифметике (сложение, вычитание, умножение, целочисленное деление) выполняются независимо и параллельно по каждому из модульных разрядов. Для всех этих операций нет переносов между модульными разрядами, что позволяет выполнять параллельные вычисления в независимых вычислительных трактах на соответствующей вычислительной архитектуре.

Позиционные характеристики модулярных представлений

Для создания вычислительных средств (технических устройств или комплекса программ) SIMD-архитектуры на основе модулярных форматов данных и соответствующей арифметики необходимо иметь алгоритмы эффективного вычисления функций от компонент модулярного представления, называемых количественными характеристиками отношения порядка для модулярных представлений или позиционными характеристиками [6]. Под эффективностью вычислений в этом случае понимается достижение компромисса между алгоритмической сложностью и затратами (разрядностью) дополнительного операционного оборудования для вычисления таких функций, позволяющих определить порядок, знак в арифметическом диапазоне на множестве модулярных представлений числовых величин. Эффективность выполнения немодульных операций в модулярной арифметике зависит от эффективности вычисления этих функций.

Рассмотрим метод уменьшения разрядности дополнительного оборудования для вычисления позиционных характеристик для модулярного вычислительного диапазона P.

Для компьютерной модулярной арифметики и соответствующих типов данных представления числовых величин $A(\mathrm{mod}P) \leftrightarrow (\alpha_1 \mathrm{mod} p_1, ..., \alpha_n \mathrm{mod} p_n)$ введены позиционные характеристики, названные классическим и нормированным рангом Z_A [1].

Система модулярных оснований (простых или взаимно простых чисел) может быть упорядочена $p_1 < p_2 < ...p_n$, $\forall i, j(p_i, p_j) = 1$ и храниться в КЭШ-памяти процессорных элементов [7].

Целую числовую величину можно разложить в сумму, связывающую значение числовой величины с нормированными компонентами вектора модулярного представления:

$$A = \sum_{i=1}^{k} \alpha_i \frac{P}{p_i} - Z_A P, \tag{1}$$

где $\alpha_i = \left| \tilde{\alpha}_i \left| \frac{P}{p_i} \right|^{-1}_{p_i} \right|_{p_i}$ — нормированная компонента модулярного представления; $\tilde{\alpha}_i = |A|_{p_i}$ — компонента классического модулярного представления, p_i — основания (простые или взаимно простые числа) модулярной системы; $P = \prod_{i=1}^{k} p_i$ — максимум модулярного диапазона; $Z_A = \left[\sum_{i=1}^{k} \frac{\alpha_i}{p_i} \right]$ — позиционная характеристика — нормированный ранг.

Для точного вычисления позиционной характеристики необходимо суммирование рациональных дробей со знаменателем P, т.е. требуются вычисления в компьютерном диапазоне с максимальным значением P, являющимся сверхбольшим числом при большом числе оснований, близких к верхней границе компьютерного целочисленного диапазона. Значение нормированного ранга — целочисленной функции от нормированных компонент модулярного представления — принадлежит отрезку $Z_A \in [0, k - 1]$, причем, как правило, $k \ll P$, что приводит к явному неравенству областей значений и определения нормированного ранга. Большинство известных методов вычисления позиционной характеристики модулярной величины имеют квадратичную сложность $O(k^2)$. Повысить эффективность вычисления позиционной характеристики модулярной величины — нормированного ранга Z_A возможно разработкой методов и функций с областями определения, близкими к областям значений [8].

Наименьшие неотрицательные вычеты рациональных чисел по модулю

Выведем математический аппарат для обоснования алгоритма вычисления позиционной характеристики по дополнительному модулю.

В теории чисел известны наименьшие неотрицательные вычеты a от целых чисел A по целому простому модулю p:

$$A \equiv a(\mathrm{mod}p),\ a \in \{0, 1, ..., p - 1\} \subset \mathbf{N}.$$

В дальнейшем, чтобы подчеркнуть бинарную операцию вычисления вычета относительно переменных A, p будем использовать обозначение операции:

$$a = |A|_P = A - \left[\frac{A}{p}\right]p \in \{0, 1, ..., p - 1\} \subset \mathbf{N},$$

где квадратными скобками обозначена разрывная функция — целая часть, не большая частного от деления.

Пусть $p > \max\{a, b\}$, определим вычет от рационального числа по простому целому модулю p следующим образом:

$$\left|\frac{a}{b}\right|_P = \left|a|b|_P^{-1}\right|_P = n \in \{0, 1, ..., p - 1\} \subset \mathbf{N}.$$

Это позволяет факторизовать множество рациональных чисел и определить p классов вычетов $\{i\}$ по модулю, причем одному классу $\{i\}$ принадлежат рациональные дроби и целые числа, для которых выполняется соотношение:

$$\left|\frac{a}{b}\right|_P = \left|\frac{a'}{b'}\right|_P = \left|a|b|_P^{-1}\right|_P = \left|a'|b'|_P^{-1}\right|_P =$$
$$= n \in \{0, 1, ..., p - 1\} \subset \mathbf{N}.$$

При условии $p > \max\{a, b\}$ однозначно восстанавливается числитель рациональной дроби с известным знаменателем, что обеспечивает биективность отображения.

Упорядочим полную систему наименьших неотрицательных вычетов по модулю:

$$\left\{n = \frac{n^1}{1}, \frac{n^2}{2}, ..., \frac{n^i}{i}, ..., \frac{n^{p-1}}{p-1}\right\} = \left\{\min\frac{n^i}{i}, ..., \frac{1}{j}, ..., n\right\},$$

где $n \equiv n^2|2|_p^{-1} \equiv ...n^i|i|_p^{-1} \equiv ...n^{p-1}|p-1|_p^{-1}\ (\mathrm{mod}p)$.

Полученной полной системе вычетов можно придать вероятностную интерпретацию:

$$\left\{1 = \frac{n^1}{1}, \frac{n^2}{2}, ..., \frac{n^i}{in}, ..., \frac{n^{p-1}}{(p-1)n}\right\} = \left\{\min\frac{n^i}{in}, ..., 1\right\},$$

где $n^i \equiv in(\mathrm{mod}p)$.

Аналогично строится полная система абсолютно наименьших вычетов рациональных чисел по модулю.

Определим свойства наименьших неотрицательных вычетов рациональных чисел по простому модулю p применительно к арифметическим операциям на множестве вычетов: умножение, сложение, вычитание, деление.

Свойство 1 (операция умножения). Условие изоморфизма отображения или восстановления рациональной дроби $p > \max\{ac, bd\}$:

$$\left|\left|\frac{a}{b}\right|_P\left|\frac{c}{d}\right|_P\right|_p = \left|ac|b|_P^{-1}|d|_P^{-1}\right|_P = \left|\frac{ac}{bd}\right|_P = |n_1n_2|_p =$$
$$= n \in \{0, 1, ..., p - 1\} \subset \mathbf{N},$$

где n_1, n_2 — некоторые целые элементы полной системы наименьших неотрицательных вычетов по модулю.

Свойство 2 (операция сложения). Условие изоморфизма отображения $p > \max\{ad + cb, bd\}$:

$$\left|\left|\frac{a}{b}\right|_P + \left|\frac{c}{d}\right|_P\right|_p = \left|(ad+cb)|d|_P^{-1}|b|_P^{-1}\right|_P =$$
$$= \left|(a|b|_P^{-1} + c|d|_P^{-1})\right|_P = \left|\frac{ad+cb}{bd}\right|_P = |n_1 + n_2|_p =$$
$$= n \in \{0, 1, ..., p - 1\} \subset \mathbf{N}.$$

Свойство 3 (операция вычитания). Условие изоморфизма отображения $p > \max\{ad - cb, bd\}$:

$$\left|\left|\frac{a}{b}\right|_P - \left|\frac{c}{d}\right|_P\right|_p = \left|(ad-cb)|d|_P^{-1}|b|_P^{-1}\right|_P =$$
$$= \left|(a|b|_P^{-1} - c|d|_P^{-1})\right|_P = \left|\frac{ad-cb}{bd}\right|_P = |n_1 - n_2|_P =$$
$$= n \in \{0, 1, ..., p - 1\} \subset \mathbf{N}.$$

Свойство 4 (операция деления). Условие изоморфизма отображения $p > \max\{ac, bd\}$:

$$\left|\left|\frac{a}{b}\right|_P \Big/ \left|\frac{d}{c}\right|_P\right|_p = \left|\left|\frac{a}{b}\right|_P\left|\frac{c}{d}\right|_P\right|_p = \left|ac|b|_P^{-1}|d|_P^{-1}\right|_P = \left|\frac{ac}{bd}\right|_P =$$
$$= \left|n_1|n_2|_p^{-1}\right|_p = n \in \{0, 1, ..., p - 1\} \subset \mathbf{N}.$$

Метод вычисления позиционной характеристики

Рассмотрим метод вычисления позиционной характеристики модулярной величины — нормированного ранга

$$Z_A = \left[\sum_{i=1}^{k}\frac{\alpha_i}{p_i}\right]. \quad (2)$$

Для разработки и обоснования алгоритма вычисления позиционной характеристики на основе вычетов рациональных чисел и оценки его сложности сформулируем две теоремы.

Теорема 1.

$$\left|\sum_{i=1}^{k}\left|\alpha_i|p_i|_g^{-1}\right|_g\right|_g \equiv \frac{1}{P}\sum_{i=1}^{k}\alpha_i P_i(\mathrm{mod}g). \quad (3)$$

Доказательство. Последовательное применение k-раз свойства 2 вычета от рациональных чисел по целому простому модулю позволяет получить величину $\frac{1}{P}\sum_{i=1}^{k}\alpha_i P_i(\mathrm{mod}g)$.

Следствие 1. Вычет первого слагаемого формулы (1) по модулю g вычисляется умножением (3) на P по модулю:

$$\left|\sum_{i=1}^{k}\left|\alpha_i|p_i|_g^{-1}\right|_g P\right|_g \equiv \sum_{i=1}^{k}\alpha_i P_i (\mathrm{mod}\, g). \qquad (4)$$

Следствие 2. Сложность вычисления выражения (4) является линейной $O(k)$.

Для вычисления второго слагаемого формулы (1) используем полиадическое представление числовой величины $A = \alpha_1 + p_1(\beta_2 + p_2(\beta_3 + (... + p_{n-1}(\beta_n + p_n(0))...)$ с тем же набором оснований, что и у модулярного представления.

Теорема 2. Компоненты модулярного и полиадического представлений, вычисляемых по простому модулю g, связывают соотношения:

$$|A^1|_g = \left|\frac{A-\alpha_1}{p_1}\right|_g = \left|(A-\alpha_1)|p_1|_g^{-1}\right|_g = \left|\beta_2 + p_2\left[\frac{A^1}{p_2}\right]\right|_g;$$

$$|A^2|_g = \left|\frac{A^1-\alpha_2}{p_2}\right|_g = \left|(A^1-\alpha_2)|p_2|_g^{-1}\right|_g = \left|\beta_3 + p_3\left[\frac{A^2}{p_3}\right]\right|_g;$$

$$...$$

$$|A^{k-1}|_g = \left|\frac{A^{k-2}-\alpha_{k-1}}{p_{k-1}}\right|_g =$$

$$= \left|(A^{k-2}-\alpha_{k-1})|p_{k-1}|_g^{-1}\right|_g = \left|\beta_k + p_k\left[\frac{A^{k-1}}{p_k}\right]\right|_g = |\beta_k|_g.$$

Доказательство. Рассмотрим итерационные соотношения, позволяющие ввести биективное отображение модулярного в полиадическое представление для одной числовой величины:

$$A = \alpha_1 + p_1(\beta_2 + p_2(\beta_3 + (... + p_{n-1}(\beta_n + p_n(0))...) \Leftrightarrow$$
$$\Leftrightarrow (\alpha_1, \alpha_2, ..., \alpha_k).$$

Учтем следующие соотношения:

$$A = \alpha_1 + p_1(\beta_2 + p_2(\beta_3 + (... + p_{n-1}(\beta_n + p_n(0))...) =$$
$$= \alpha_1 + p_1\left[\frac{A}{p_1}\right] = \alpha_1 + p_1((A - \alpha_1)|p_1|^{-1}),$$

$$A = \alpha_1 + p_1A^1 = \alpha_1 + p_1\left[\frac{A}{p_1}\right],$$

$$A^1 = \frac{A-\alpha_1}{p_1} = \beta_2 + p_2\left[\frac{A^1}{p_2}\right],$$

$$A^2 = \frac{A^1-\alpha_2}{p_2} = \beta_3 + p_3\left[\frac{A^2}{p_3}\right].$$

Для описания итерационного процесса введен верхний индекс, соответствующий номеру этапа

$$(\alpha_1, ..., \alpha_k) = (\alpha_1^1, \alpha_2^1, ..., \alpha_k^1).$$

На первом этапе выполнены преобразования в компонентах вектора модулярного представления:

$$(0, \alpha_2^2, ..., \alpha_k^2) =$$
$$= \left(0, \left|(\alpha_2^1 - \alpha_1^1)|p_1|_{p_2}^{-1}\right|_{p_2}, ... \left|(\alpha_k^1 - \alpha_1^1)|p_1|_{p_k}^{-1}\right|_{p_k}\right).$$

В частности, во второй компоненте получено $\left|(A-\alpha_1)|p_1|_{p_2}^{-1}\right|_{p_2} = \beta_2$. Аналогично вычисляются остальные компоненты вектора $\left|(A-\alpha_1)|p_1|_{p_i}^{-1}\right|_{p_i}$. В результате получен вектор со следующими компонентами:

$$(0, \alpha_2^2, ..., \alpha_k^2) = (0, \beta_2, \alpha_3^2, ..., \alpha_k^2).$$

На следующих этапах итерационного процесса аналогично вычисляются компоненты $\forall j = i, ..., k$ $\left|(\alpha_j^i - \alpha_i^i)|p_i|_{p_j}^{-1}\right|_{p_j}$ векторов $(0, ..., 0, \alpha_i^i, \alpha_{i+1}^i, ..., \alpha_k^i)$, что позволяет получить на основе компонент модулярного представления последовательно компоненты $\{\beta_2, \beta_3, ..., \beta_n\}$ полиадического представления числовой величины.

Следствие 1. Обработанные компоненты последовательно получаемых векторов, например $x_1 = \left|(A-\alpha_1)|p_1|^{-1}\right|_{p_1} \equiv \left|\left[\frac{A}{p_1}\right]\right|_{p_1}$, могут быть приравнены нулю, так как они не используются для этапов в алгоритме A-1 для вычисления позиционной характеристики.

Следствие 2. Сложность вычисления последовательности компонент полиадического представления $\{\beta_2, \beta_3, ..., \beta_n\}$ равна $O(k^2)$.

Вышеприведенные теоремы позволяют сформировать алгоритм вычисления позиционной характеристики.

Алгоритм А-1.

1. Вычисление вычета $\left|\sum_{i=1}^{k}\left|\alpha_i|p_i|_g^{-1}\right|_g\right|_g = N$.

2. Модификация вычета $\left|\sum_{i=1}^{k}\left|\alpha_i|p_i|_g^{-1}\right|_g|p_1|_g \cdots |p_k|_g\right|_g =$

$$= \left|\sum_{i=1}^{k}\left|\alpha_i|p_i|_g^{-1}\right|_g|P|_g\right|_g = \tilde{N}.$$

3. Формирование вектора $(\tilde{N}, \alpha_1, ..., \alpha_k)$ и приравнивание его вектору с введенным верхним индексом $(\tilde{N}, \alpha_1, ..., \alpha_k) = (\tilde{N}^1, \alpha_1^1, \alpha_2^2, ..., \alpha_k^1)$.

4. На первой итерации формируется вектор

$$\left(\left|(\tilde{N}^1 - \alpha_1^1)|p_1|_g^{-1}\right|_g, 0, \left|(\alpha_2^1 - \alpha_1^1)|p_1|_{p_2}^{-1}\right|_{p_2}, ...\right.$$
$$\left. ..., \left|(\alpha_k^1 - \alpha_1^1)|p_1|_{p_k}^{-1}\right|_{p_k}\right) = (\tilde{N}^2, 0, \alpha_2^2, \alpha_3^2, ..., \alpha_k^2).$$

5. Аналогичные вычисления выполняются для всех остальных компонент (до k-й, включительно) вектора. В частности, для i-й итерации формируется вектор $\left(\left|(\tilde{N}^{i-1} - \alpha_{i-1})|p_{i-1}|_g^{-1}\right|_g, 0, \ldots,\right.$

$$\left.\ldots, 0, \left|(\alpha_i - \alpha_{i-1})|p_{i-1}|_{p_2}^{-1}\right|_{p_2}, \ldots, \left|(\alpha_k - \alpha_{i-1})|p_1|_{p_k}^{-1}\right|_{p_k}\right) =$$

$= (\tilde{N}^i, 0, \ldots, 0, \alpha_i^i, \alpha_{i+1}^i, \ldots, \alpha_k^i)$.

6. Критерием останова алгоритма является выполнение вышеуказанных преобразований во всех компонентах (до k-й компоненты включительно). В результате получен вектор со всеми нулевыми компонентами, кроме первой, в которой сформировано числовое значение позиционной характеристики — нормированный ранг $Z_A = \left[\sum_{i=1}^{k} \frac{\alpha_i}{p_i}\right]$.

Теорема 1 служит для обоснования результатов этапов 1, 2, а теорема 2 предназначена для обоснования результаты этапов алгоритма 4—6. В следствиях из теорем показано, что суммарная сложность описанного алгоритма является квадратичной $O(k^2)$.

Заключение

Вычисление позиционной характеристики — нормированный ранг — необходимо для оценки значения модулярной величины и выполнения немодульных операций над данными в модулярных форматах.

Предлагаемый метод вычисления позиционной характеристики, в отличие от описанного в работе [8], не требует при представлении числовых величин введения избыточности в модулярный формат для устранения так называемой "критичности".

Областью значений позиционной характеристики — нормированный ранг является множество [0, k), что позволяет выбрать простое значение дополнительного модуля $g \geqslant k$, это дает экономию в разрядности аппаратуры вычисления позиционной характеристики, так как, как правило, $k \ll p_i$.

Вышеприведенный метод, имеющий квадратичную сложность, позволяет организовать эффективное вычисление позиционной характеристики — нормированный ранг на аппаратуре с разрядностью $k \leqslant g \ll p_i$, дополняющей средства арифметических преобразований числовых величин в компьютерных модулярных форматах.

Список литературы

1. **Амербаев В. М.** Теоретические основы машинной арифметики. Алма-Ата: Наука, 1976. 320 с.
2. **Инютин С. А.** Основы модулярной алгоритмики. Ханты-Мансийск: Полиграфист, 2009. 237 с.
3. **Инютин С. А.** Анализ сложности многоразрядных вычислительных процессов // Научные труды МАТИ. 2014. Вып. 22 (94). С. 154—159.
4. **Inyutin S. A.** Parallel Square Modular Computer Algebra // Transaction of Parallel Processing and Applied Mathematics PPAM — 2003. Poland—Denmark: Springer, 2003. P. 117—123.
5. **Ноден П., Китте К.** Алгебраическая алгоритмика. М.: Мир, 1999. 720 с.
6. **Амербаев В. М., Тельпухов Д. В.** Обратный преобразователь модулярной арифметики с использованием неточного ранга // Известия высших учебных заведений. Электроника. 2013. № 1. С. 41—46.
7. **Шилов В. В., Столярский Е. З.** Организация и работа кэш-памяти // Информационные технологии. 2000. № 7. С. 2—8.
8. **Инютин С. А**. Особенности вычисления характеристик модулярной величины // Информационные технологии. 2014. № 5 (213). С. 22—27.

S. A. Inyutin, Professor, e-mail: inyutin_int@mail.ru,
Moscow Aviation Institute (Nation Research University) (MAI)

Method Calculation Quantitative Characteristic Computer Modular Value

Developed iterative method for computing quantitative characteristics from wearing for computer modular data formats in a parallel re-configurable computing systems. Quantitative characterization earmarked for implementation non-modular operations in a parallel computer arithmetic. The iterative method allows to obtain a characteristic with the use of additional equipment with a minimum width while the quadratic computational complexity of the calculation algorithm.

Keywords: *reconfigurable multiprocessor systems, modular computing process, complexity of computation, figure characteristic for modular computer formats, numerical characteristics, cellular algorithm of the routing*

References

1. **Amerbaev V. M.** *Teoreticheskie osnovyi mashinnoy arifmetiki* (Theoretic base computer arithmetic). Alma-Ata, Nauka, 1976. 320 p.
2. **Inyutin S. A.** *Osnovyi modulyarnoy algoritmiki* (Base at modular algorithmic). Hantyi-Mansiysk, Poligrafist, 2009. 237 p.
3. **Inyutin S. A.** Analiz slojnosti mnogorazryadnyih vyichislitelnyih protsessov (Analyst many digital calculation process), *Nauchnyie trudyi MATI.* 2014, vol. 22 (94), pp. 154—159.
4. **Inyutin S. A.** Parallel Square Modular Computer Algebra, *Transaction of Parallel Processing and Applied Mathematics PPAM - 2003.* Poland-Denmark: Springer, 2003, pp. 117—123.
5. **Noden P., Kitte K.** *Algebraicheskaya algoritmika* (Algebra algorithmic). Moscow, Mir, 1999. 720 p.
6. **Amerbaev V. M., Telpuhov D. V.** Obratnyiy preobrazovatel modulyarnoy arifmetiki s ispolzovaniem netochnogo ranga (Reverse drive modular arithmetic using precision pang), *Izvestiya vyisshih uchebnyih zavedeniy. Electronic*, 2013, no. 1, pp. 41—46.
7. **Shilov V. V., Stolyarskiy E. Z.** Organizatsiya i rabota keshpamyati (Planning work Kech- memory), *Informatsionnyie tehnologii*, 2000, no. 7, pp. 2—8.
8. **Inyutin S. A.** Osobennosti vyichisleniya harakteristik modulyarnoy velichinyi (Peculiarity calculation characteristics for computer modular value), *Informatsionnyie tehnologii*, 2014, no. 5 (213), pp. 22—27.