

КОНТРОЛЬ ВИКОНАННЯ АРИФМЕТИЧНИХ ОПЕРАЦІЙ НА ОСНОВІ МОДУЛЯРНИХ КОДІВ

У статті запропоновано метод контролю правильності виконання арифметичних операцій на основі модулярних коректуючих кодів. Розроблено алгоритм виявлення та виправлення помилок при виконанні арифметичних операцій та структурну схему пристрою контролю арифметичних операцій в арифметико-логічному пристрої.

Ключові слова: арифметичні операції, модулярна арифметика, система залишкових класів, коректуючі коди.

VASYL YATSKIV
Ternopil National Economic University

THE ARITHMETIC OPERATIONS CONTROL BASED ON MODULAR CODES

The method for error checking of arithmetic operations based on modular correcting codes is proposed in the article. The error detection and correction algorithm for arithmetic operations is developed. The block diagram of arithmetic operations control device in arithmetic and logic unit is elaborated.

Keywords: arithmetic operations, modular arithmetic, residue number system, corrective codes, wireless sensor networks.

ВСТУП

Забезпечення високої надійності роботи обчислювальних засобів, які функціонують в системах автоматизації різних галузей народного промисловості, є актуальною науковою проблемою [1]. Для контролю правильності виконання арифметичних операцій використовують властивості порівняння по модулю, на основі яких побудовані спеціальні арифметичні коди [2, 3]. Методи контролю арифметичних операцій розроблені і використовуються для арифметичних операцій, які виконуються в системі залишкових класів [4]. Але проблема підвищення надійності функціонування обчислювальних засобів, зокрема виявлення та виправлення помилок при виконанні арифметичних операцій, які функціонують в позиційних системах числення, залишається актуальною.

КОНТРОЛЬ ВИКОНАННЯ АРИФМЕТИЧНИХ ОПЕРАЦІЙ

Розроблені в [5] модулярні коректуючі коди забезпечують ефективне виявлення та виправлення помилок при передачі даних в безпроводних сенсорних мережах. В даній роботі доведена можливість застосування даних кодів для виявлення та виправлення помилок при виконанні арифметичних операцій.

Нехай арифметичні операції виконуються над операндами A , B , де $A = (a_{k-1}, \dots, a_i, \dots, a_1, a_0)$, $B = (b_{k-1}, \dots, b_i, \dots, b_1, b_0)$, a_i , b_i – розряди чисел A , B представлені в вісімковій або десятковій системах числення.

Суть методу виявлення та виправлення помилок при виконанні арифметичних операцій полягає в наступному для чисел A , B над якими виконуються арифметичні операції обчислюються контрольні символи [5]:

$$a_k = |(v_{k-1} \cdot a_{k-1} + \dots + v_i \cdot a_i + \dots + v_0 \cdot a_0)|_P, \quad (1)$$

$$b_k = |(v_{k-1} \cdot b_{k-1} + \dots + v_i \cdot b_i + \dots + v_0 \cdot b_0)|_P, \quad (2)$$

де P – просте число, v_i – коефіцієнти взаємно прості з P .

Відповідно, арифметичні операції додавання, віднімання і множення виконуються над інформаційними розрядами чисел A , B і над контрольними розрядами. З отриманого результату виконання арифметичних операцій над інформаційними символами обчислюється контрольний символ. Далі відбувається порівняння контрольних символів отриманого в результаті додавання контрольних символів чисел і контрольного символу, обчисленого від результату додавання інформаційних розрядів.

Операція додавання. Додавання інформаційних розрядів:

$$\begin{aligned} & (a_{k-1}, \dots, a_i, \dots, a_1, a_0) \\ & + (b_{k-1}, \dots, b_i, \dots, b_1, b_0) \\ & \hline & (c_{k-1}, \dots, c_i, \dots, c_1, c_0) \end{aligned}$$

де c_i – сума чисел a_i , b_i без врахування переносів між розрядами.

Сума контрольних символів:

$$|a_k + b_k|_p = c_k.$$

Обчислюємо контрольний символ від результату додавання інформаційних розрядів:

$$c'_k = |(v_{k-1} \cdot c_{k-1} + \dots + v_i \cdot c_i + \dots + v_0 \cdot c_0)|_p.$$

Для виявлення помилки обчислюємо різницю між двома перевірочними символами:

$$s = |(c'_k - c_k)|_p,$$

якщо $s = 0$ – помилки не має; при $s \neq 0$ – наявна помилка.

Покажемо, що при відсутності помилок $c'_k = c_k$.

З наведених вище можна записати:

$$c'_k = |(v_{k-1} \cdot (a_{k-1} + b_{k-1}) + \dots + v_i \cdot (a_i + b_i) + \dots + v_0 \cdot (a_0 + b_0))|_p \quad (3)$$

$$c_k = |a_k + b_k|_p = |(v_{k-1} \cdot (a_{k-1} + b_{k-1}) + \dots + v_i \cdot (a_i + b_i) + \dots + v_0 \cdot (a_0 + b_0))|_p. \quad (4)$$

так як, праві частини виразів (3) і (4) однакові, то і ліві частини, за умови відсутності помилок, при виконанні арифметичних операцій будуть однаковими.

Розглянемо виявлення помилок при виконанні операції віднімання двох чисел. Віднімання інформаційних розрядів двох чисел A, B :

$$(a_{k-1}, \dots, a_i, \dots, a_1, a_0) - (b_{k-1}, \dots, b_i, \dots, b_1, b_0) = d_{k-1}, \dots, d_i, \dots, d_1, d_0,$$

де d_i – різниця чисел a_i, b_i по модулю P : $d_i = |a_i - b_i|_p$.

Значення контрольних символів обчислюються за формулами (1), (2).

Різниця контрольних символів:

$$|a_k - b_k|_p = d_k.$$

Значення контрольного символу від результату віднімання інформаційних розрядів дорівнює:

$$d'_k = |(v_{k-1} \cdot d_{k-1} + \dots + v_i \cdot d_i + \dots + v_0 \cdot d_0)|_p.$$

Для виявлення помилки обчислюємо різницю між двома перевірочними символами:

$$s = |(d'_k - d_k)|_p,$$

відповідно, якщо $s = 0$ – помилки не має; в іншому випадку наявна помилка.

Аналогічно операції додавання можна показати, що при відсутності помилок значення контрольних символів будуть рівними, тобто $d'_k = d_k$.

Операція множення. Для виявлення помилок при виконанні операції множення чисел A, B обчислимо лінійну згортку розрядів двох чисел $(a_{k-1}, \dots, a_i, \dots, a_1, a_0)$ і $(b_{k-1}, \dots, b_i, \dots, b_1, b_0)$.

Лінійна згортка обчислюється за формулою

$$m(n) = \sum_{i=0}^n a(i) \cdot b(n-i),$$

де $n = 0 \dots (2 \cdot N - 2)$ при розрядності чисел $N - 1$.

При лінійній згортці розряди чисел зсувають один відносно іншого, попарно перемножуються і додаються (табл.1).

В результаті отримуємо послідовність $(m_{2k-1}, \dots, m_i, \dots, m_1, m_0)$, де m_i – розряди послідовності, які представляють добуток чисел A, B без врахування переносів між розрядами. Для отримання правильного результату множення необхідно провести корекцію переносів між розрядами.

Таблиця 1

Згортка трьох розрядних чисел A, B.

Розряди чисел A і B							Значення
		a_0	a_1	a_2			
b_2	b_1	b_0					$m_0 = a_0 \cdot b_0$
	b_2	b_1	b_0				$m_1 = a_1 \cdot b_0 + a_0 \cdot b_1$
		b_2	b_1	b_0			$m_2 = a_2 \cdot b_0 + a_1 \cdot b_1 + a_0 \cdot b_2$
			b_2	b_1	b_0		$m_3 = a_2 \cdot b_1 + a_1 \cdot b_2$
				b_2	b_1	b_0	$m_4 = a_2 \cdot b_2$

Контрольний символ операції множення обчислюємо, як добуток контрольних символів чисел A , B :

$$|a_k \cdot b_k|_p = m_k.$$

Контрольний символ від послідовності $(m_{2k-1}, \dots, m_i, \dots, m_1, m_0)$, отриманої в результаті згортки дорівнює:

$$m'_{2k} = |(z_{2k-1} \cdot c_{2k-1} + \dots + z_i \cdot c_i + \dots + z_0 \cdot c_0)|_p,$$

де z_i – значення отримані в результаті згортки взаємно простих коефіцієнтів v_i .

Для виявлення помилки обчислюємо різницю між двома перевірочними символами:

$$s = |(m'_{2k} - m_{2k})|_p,$$

якщо $s = 0$ – помилки не має; при $s \neq 0$ – наявна помилка.

Алгоритм виявлення та виправлення помилок при виконанні арифметичних операцій

Загальний алгоритм виявлення помилок при виконанні арифметичних операцій складається з наступних кроків:

1. Обчислення контрольних символів операндів A , B ;
2. Виконання арифметичної операції (додавання, віднімання, множення) над операндами A , B .
3. Виконання арифметичної операції (додавання, віднімання, множення) над контрольними символами операндів A , B .
4. Обчислення контрольного символу від отриманого результату виконання заданої арифметичної операції.
5. Виявлення помилки (порівняння обчислених в пунктах 3 і 4 контрольних символів).
6. Виправлення помилок.

Виправлення помилки відбувається за алгоритмом виправлення помилок при передаванні даних з використанням модулярних коректуючих кодів.

Структурна схема виявлення помилок при виконанні арифметичних операцій приведена на рис. 1.

Схема виявлення та виправлення помилок при виконанні арифметичних операцій (рис.1) працює наступним чином. Операнди A , B поступають на АЛП, а також на ОКС_А і ОКС_В, де відбувається обчислення контрольного символу кожного операнду. Обчислені контрольні символи поступають на вхід блоку АПКС, де виконується задана арифметична операція над контрольними символами операндів. Результат виконання арифметичної операції R в АЛП поступає на блок ОКС_Р, в якому обчислюється контрольний символ результату виконання арифметичної операції. В блоці обчислення синдрому обчислюється різниця між контрольним символом результату виконання арифметичної операції і значенням отриманим в результаті виконання арифметичної операції над контрольними символами операндів. Якщо результат обчислення синдрому дорівнює нулю, то на вихід мультиплексора (МХ) поступають дані з АЛП, якщо результат обчислення синдрому не дорівнює нулю, то на вихід мультиплексора (МХ) поступають дані з блоку виправлення помилок.

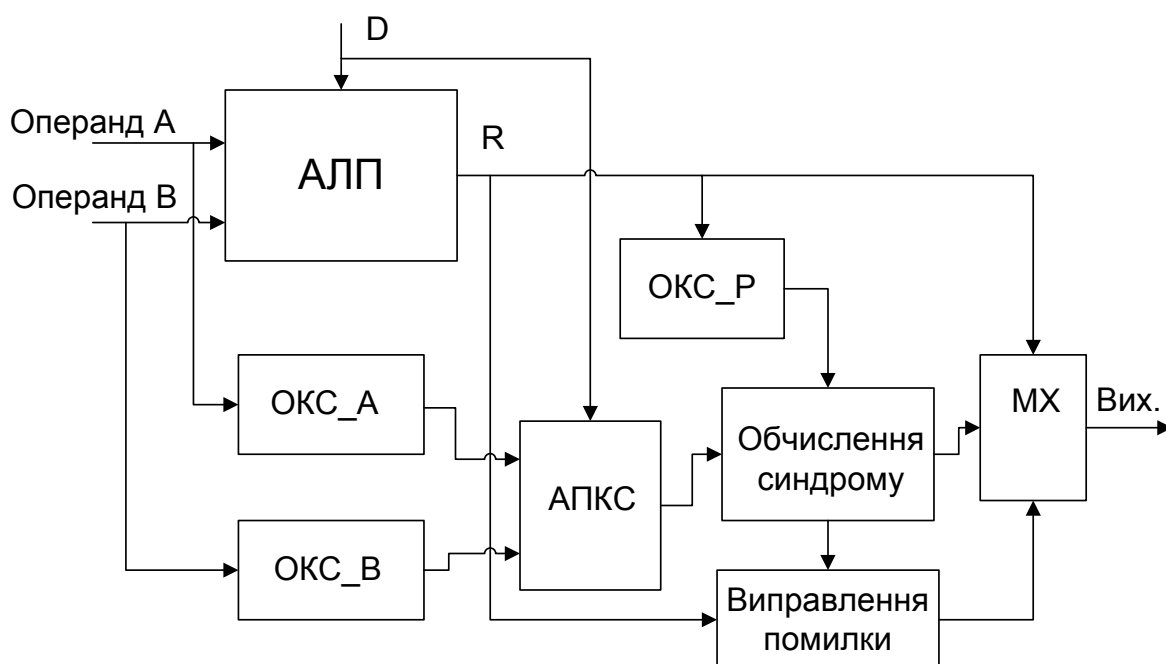


Рис.1. Структурна схема блоку виявлення помилок при виконанні арифметичних операцій

Висновки

Запропонований метод виявлення та виправлення помилок при виконанні арифметичних операцій (додавання, віднімання, множення) на основі модулярних коректуючих кодів дозволяє виявляти помилки в двох десяткових розрядах та виправляти помилки в одному десятковому розряді при використанні одного контрольного символу.

Література

1. Дрозд А. В. Оценка контролепригодности цифровых компонентов встроенных систем критического применения / А. В. Дрозд, В. С. Харченко, С. Г. Антошук, М. А. Дрозд, Ю. Ю. Сулима. Радиоэлектронные и компьютерные системы. – 2012. – №6. – С. 184-190.
2. Omondi A. Residue Number System: Theory and Implementation. / A. Omondi, B. Premkumar. Imperial College Press, vol. 2, 2007. – 296 p.
3. Акушский И.Я. Машинная арифметика в остаточных классах / И. Я. Акушский, Д.И. Юдицкий. – М.: Сов. радио. – 1968. – 460 с.
4. Система обработки информации и управления АСУ ТП на основе применения кодов в модулярной арифметике: моногр / В.И. Барсов, В.А. Краснобаев, И.А. Фурман, и др. – Х.: МОН, УИПА, 2009. – 159 с.
5. Hu Zhengbing. Increasing the Data Transmission Robustness in WSN Using the Modified Error Correction Codes on Residue Number System / Hu Zhengbing, V. Yatskiv, A. Sachenko // Elektronika ir Elektrotechnika. – 2015. – Vol 21, No 1 – P. 76-81.

References

1. Drozd A.V. Evaluation testability digital components embedded systems of critical application / A. V. Drozd, V. S. Harchenko, S. G. Antoshchuk, M. A. Drozd, Yu. Yu. Sulima. Radio electronic and computer systems. – 2012. – №6. – P. 184-190.
2. Omondi A. Residue Number System: Theory and Implementation / A. Omondi, B. Premkumar. Imperial College Press, vol. 2, 2007. – 296 p.
3. Akushskiy I.Y. Machine Arithmetics in Residue Number System / I.Y. Akushskiy, D.I. Yuditskiy, Moscow, Soviet Radio, 1968. – 460 p.
4. The information processing system and control automation systems based on the use of codes in modular arithmetic: monograph / V.I. Barsov, V.A. Krasnobaev, I.A. Furman, et al. - X.: MON UEPA, 2009. – 159 p.
5. Hu Zhengbing. Increasing the Data Transmission Robustness in WSN Using the Modified Error Correction Codes on Residue Number System / Hu Zhengbing, V. Yatskiv, A. Sachenko // Elektronika ir Elektrotechnika. – 2015. – Vol 21, No 1 – P. 76-81.

Рецензія/Peer review : 9.11.2015 р.

Надрукована/Printed : 19.12.2015 р.

УДК 681.324

В.М. ДУБОВОЙ, О.Д. НИКИТЕНКО
Вінницький національний технічний університет

ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ У РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ

В статті представлена доцільність використання методу декомпозиції завдань управління за допомогою кластеризації для побудови оптимальної структури розподілених систем управління з урахуванням вартості обміну інформацією. Для оцінювання міжзадачного інформаційного обміну застосовано метод інформаційних потоків. Результати можуть бути використані для підвищення ефективності управління складними розподіленими технологічними процесами.

Ключові слова: інформаційний потік, оптимізація структури, розподілена система управління, кластеризація завдань, інформаційний обмін.

V.M. DUBOVOY, O.D. NIKITENKO
Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine

OPTIMIZATION OF THE STRUCTURE OF INFORMATION FLOW IN DISTRIBUTED CONTROL SYSTEMS

Abstract - The aim of this paper is to solve the problem of building structures distributed control systems based on clustering management tasks to the cost of information exchange.

To do this, optimization of structure of information flow by decomposition of control problems so that management costs were minimal. For the evaluation of information flow between the subsystems apply the method of information flow, based on static measure the amount of information of Shannon and the operator presenting the main models of information processes. Cost performance subprocess, depending on its complexity, assessed using algorithmic models.

Results can be used to improve the efficiency of managing complex distributed technological processes.

Keywords: information flow, optimization of the structure, distributed control system, clustering tasks, exchange of information.

Вступ

Зміни у функціонуванні промислових підприємств, пов'язані із зростанням їх розмірів і складності, викликають необхідність інформаційної координації елементів виробництва, вдосконалення структури