

ДВОВИМІРНІ КОРЕКТУЮЧІ КОДИ НА ОСНОВІ МОДУЛЯРНОЇ АРИФМЕТИКИ

В роботі представлено двовимірні коректуючі коди на основі модулярної арифметики (МА). Наведено алгоритм кодування та декодування даних з використанням двовимірних коректуючих кодів. Наведено приклади виявлення помилок при різних варіантах розміщення помилок в матриці даних. Проведені дослідження показали, що запропоновані коректуючі коди дозволяють ефективно виявляти та виправляти пакети помилок.

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

V.V. YATSKIV, T.H.TSAVOLYK
Ternopil National Economic University, Ukraine

TWO-DIMENSIONAL CORRECTIVE CODES BASED ON MODULAR ARITHMETIC

The aim is to develop and research two-dimensional correcting codes based on modular arithmetic. In this work, two-dimensional codes on the basis of corrective modular arithmetic. To work out the algorithm of encoding and decoding data with using two-dimensional correcting codes. Examples of error detection in different variants placement errors in the data matrix.

Proposed corrective dimensional codes based on modular arithmetic providing error detection and correction n, which are in the same row or column matrix of data 2n-1 errors that are in the same row and column and block error size (n-1)x(n-1). Research shown that the proposed corrective codes can effectively detect and fix packs errors.

Keywords: residue number system, modular arithmetic, corrective codes.

Постановка задачі

З розвитком та широким впровадженням безпроводних технологій задача підвищення надійності передачі даних набуває все більш важливого значення. Відповідно контроль цілісності даних, які передаються та обробляються сучасними цифровими системами є актуальною науковою задачею, зокрема в безпроводних сенсорних мережах (БСМ). БСМ є розділеною та самоорганізованою мережею сенсорів і виконавчих пристроїв, які об'єднані між собою безпроводними радіо або оптичними каналами зв'язку.

В даний час для досягнення надійної та ефективної передачі дані в БСМ застосовуються різні методи кодування [1]. Однак враховуючи функціональні обмеження апаратного забезпечення вузлів БСМ вимоги до коректуючих кодів в БСМ є більш жорсткими порівняно з іншими технологіями безпроводної передачі даних, зокрема вони повинні забезпечувати:

- низьку складність алгоритмів кодування / декодування;
- низькі апаратні вимоги до реалізації алгоритмів (швидкодія мікроконтролера, обсяг пам'яті);
- адаптивна зміна кількості перевірючих символів при зміні параметрів каналу.

Оброблення та передавання даних в системі залишкових класів (СЗК) має ряд переваг, завдяки незалежності, малорозрядності та рівноправності залишків, можливості паралельного виконання арифметичних операцій. Враховуючи переваги СЗК при обробці та передаванні даних, особливий інтерес для використання в БСМ представляють коректуючі коди на основі модулярної арифметики [4, 5].

Аналіз досліджень та публікацій

Крім вище названих переваг в СЗК також розроблені ефективні коректуючі коди, які здатні виявляти та виправляти пакети помилок [2, 3] (рис. 1). Однак для їх використання в існуючих цифрових системах передавання даних, зокрема в БСМ, необхідно попередньо перетворити дані в СЗК, що потребує додаткових затрат часу та обчислювальних ресурсів.

Розглянемо систему залишкових класів з модулями $p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_n$ в якій число A представляється набором залишків по відповідних модулях

$$A = (b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_n),$$

де $b_i = A \pmod{p_i}$.

Модулі p_i вибираються з умови, що найбільший спільний дільник $\text{gcd}(p_i, p_j) = 1$, при $i \neq j$,

а $p_1 < p_2 < \dots < p_k < p_{k+1} < \dots < p_n$.

З даного набору модулів перші k модулів використовуються для кодування даних а $r = n - k$ модулів використовуються для виявлення та виправлення помилок. набір із k модулів утворює робочий діапазон:

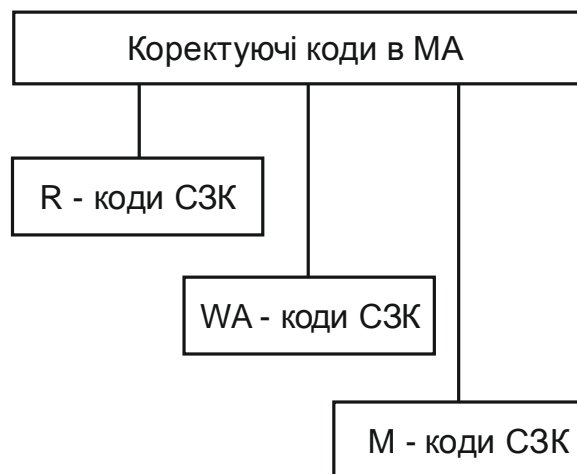


Рис. 1. Класифікація коректуючих кодів в модулярній арифметиці

$$P = \prod_{i=1}^k p_i,$$

при цьому загальний діапазон визначається як

$$\wp = P \cdot \prod_{i=1}^{n-k} p_i = \prod_{i=1}^n p_i.$$

У коректуючих кодах СЗК (R – коди СЗК) значення контрольного розряду визначається [3, 4]

$$b_{k+1} = A \pmod{p_{k+1}},$$

тобто, обчислення контрольного розряду потребує звернення до початкового значення числа A , а це потребує додаткових обчислювальних ресурсів.

R – коди СЗК мають також обмеження, які накладаються умовою вибору зростаючої послідовності взаємно простих модулів. При цьому необхідно щоб перевірочні модулі були однакової розрядності. В іншому випадку виникає проблема ефективного (оптимального) збереження перевірочних символів.

В [6] розроблені слабо арифметичні коди СЗК (WA – коди СЗК), які мають обмеження при контролі виконання арифметичних операцій, однак можуть ефективно використовуватись для виявлення та виправлення помилок в процесі передавання даних, так як дозволяють простіше формувати контрольні символи.

В слабо арифметичних кодах СЗК значення контрольного розряду визначається

$$\bar{b}_{k+1} = (v_1 \cdot b_1 + v_2 \cdot b_2 + \dots + v_i \cdot b_i + \dots + v_k \cdot b_k) \pmod{p},$$

де v_i – коефіцієнти взаємно прості з p ; b_i – залишки по відповідних модулях p_i , $i = 1, \dots, k$.

Припустимо, що в процесі передавання відбулась помилка в одному із залишків і замість A отримали A' :

$$A' = (b_1, b_2, \mathbf{K}, b_i', \mathbf{K}, b_k, \bar{b}_{k+1}).$$

Значення контрольного розряду обчислюємо за формулою

$$\bar{b}_{k+1}' = (v_1 \cdot b_1 + v_2 \cdot b_2 + \mathbf{K} + v_i \cdot b_i' + \mathbf{K} + v_k \cdot b_k) \pmod{p}.$$

Обчислимо різницю між розрахованим і прийнятим контрольними символами $\delta = \bar{b}_{k+1}' - b_{k+1}$. Отже, при $\delta = 0$ – помилка відсутня; при $\delta \neq 0$ – є помилка.

Для виявлення помилки в будь якому з блоків необхідно, щоб кожному значенню δ_i відповідало одне значення помилки x_i . Для виконання даної умови коефіцієнти v_i повинні бути взаємно прості з p .

Недоліком слабо арифметичних кодів СЗК є те що дані, які необхідно обробляти або передавати мають бути представлені в СЗК, що обмежує їх використання.

В [7] розроблено та досліджено модифіковані коди СЗК (M – коди СЗК), які зберігають переваги слабо арифметичних кодів, але обробляють вхідні дані представлені в позиційній системі числення (двійковій, вісімковій, десятковій), що значно спрощує та розширює їх область застосування.

Формулювання цілей

Метою даної роботи є розробка та дослідження двовимірних коректуючих кодів на основі модулярної арифметики.

Двовимірні коректуючі коди

В даній роботі запропоновані двовимірні коректуючі коди на основі модулярної арифметики, які базуються та модифікованих коректуючих кодах СЗК, але на відміну від останніх забезпечують двовимірний контроль помилок, що підвищує їх коректуючі можливості. Під двовимірним контролем в роботі розуміється формування перевірочних символів по рядках та стовпцях матриці даних.

Перевірочний символ по горизонталі обчислюється за формулою:

$$b_{i,n+1} = (v_1 \cdot b_{i,1} + v_2 \cdot b_{i,2} + \dots + v_i \cdot b_{i,i} + \dots + v_n \cdot b_{i,n}) \pmod{p}, \quad (1)$$

де v_i – взаємно прості числа з p , p – контрольний модуль.

Значення контрольного модулю вибираємо із умови [7]:

$$p \geq 2 \cdot n \cdot (2^m - 1), \quad (2)$$

де m – розрядність інформаційного символу, n – кількість інформаційних символів.

Перевірочний символ по вертикалі обчислюється за формулою:

$$b_{n+2,j} = (v_1 \cdot b_{1,j} + v_2 \cdot b_{2,j} + \dots + v_i \cdot b_{i,j} + \dots + v_n \cdot b_{n,j}) \pmod{p}. \quad (3)$$

Двовимірний контроль помилок представимо у вигляді матриці:

$$\begin{array}{cccccc}
 b_{1,1} & b_{1,2} & \dots & b_{1,j} & \dots & b_{1,n} / b_{1,n+1} \\
 b_{2,1} & b_{2,2} & \dots & b_{2,j} & \dots & b_{2,n} & b_{2,n+1} \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 b_{i,1} & b_{i,2} & \dots & b_{i,j} & \dots & b_{i,n} & b_{i,n+1} \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 b_{n,1} & b_{n,2} & \dots & b_{n,j} & \dots & b_{n,n} & b_{n,n+1} \\
 \hline
 b_{n+2,1} & b_{n+2,2} & \dots & b_{n+2,j} & \dots & b_{n+2,n} &
 \end{array}$$

На приймальній стороні, декодер за формулами (1, 3) обчислює перевірочні символи $b'_{i,n+1}$ і $b'_{n+2,j}$ по отриманих даних. В результаті обчислення отримуємо матрицю:

$$\begin{array}{cccccc|c}
 b_{1,1} & b_{1,2} & \mathbf{K} & b'_{1,j} & \mathbf{K} & b_{1,n} & b'_{1,n+1} \\
 b_{2,1} & b_{2,2} & \mathbf{K} & b'_{2,j} & \mathbf{K} & b_{2,n} & b'_{2,n+1} \\
 \mathbf{K} & \mathbf{K} & \mathbf{K} & \mathbf{K} & \mathbf{K} & \mathbf{K} & \mathbf{K} \\
 b_{i,1} & b_{i,2} & \mathbf{K} & b'_{i,j} & \mathbf{K} & b_{i,n} & b'_{i,n+1} \\
 \mathbf{K} & \mathbf{K} & \mathbf{K} & \mathbf{K} & \mathbf{K} & \mathbf{K} & \mathbf{K} \\
 b_{n,1} & b_{n,2} & \mathbf{K} & b'_{n,j} & \mathbf{K} & b_{n,n} & b'_{n,n+1} \\
 \hline
 b'_{n+2,1} & b'_{n+2,2} & \mathbf{K} & b'_{n+2,j} & \mathbf{K} & b'_{n+2,n} &
 \end{array}$$

Виявлення помилок відбувається на основі аналізу синдрому, який обчислюється за формулою

$$\delta_{i,j} = (b'_{i,j} - b_{i,j}) \bmod p,$$

або

$$d_i = \begin{pmatrix} (b'_{1,n+1} - b_{1,n+1}) \bmod p \\ (b'_{2,n+1} - b_{2,n+1}) \bmod p \\ \mathbf{K} \\ (b'_{i,n+1} - b_{i,n+1}) \bmod p \\ \mathbf{K} \\ (b'_{n,n+1} - b_{n,n+1}) \bmod p \end{pmatrix}, \quad d_j = \begin{pmatrix} (b'_{n+2,1} - b_{n+2,1}) \bmod p \\ (b'_{n+2,2} - b_{n+2,2}) \bmod p \\ \mathbf{K} \\ (b'_{n+2,j} - b_{n+2,j}) \bmod p \\ \mathbf{K} \\ (b'_{n+2,n} - b_{n+2,n}) \bmod p \end{pmatrix},$$

де $b'_{i,n+1}$ – перевірочний символ обчислений по прийнятих даних.

Отже, якщо $\delta_{i,j} = 0$ – помилки немає, відповідно

$$d_i = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \mathbf{K} \\ 0 \\ \mathbf{K} \\ 0 \end{pmatrix} \quad \text{і} \quad d_j = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \mathbf{K} \\ 0 \\ \mathbf{K} \\ 0 \end{pmatrix} \quad \text{– помилки немає.}$$

В іншому випадку, якщо $\delta_{i,j} \neq 0$ то на перетині відповідного рядка та стовпця відбулась помилка.

Отже, не нульове значення синдрому однозначно вказує на спотворений інформаційний символ.

При двох і більше спотворених інформаційних символах в одному рядку (при умові, що одна помилка в стовпці) виправлення помилок відбувається по аналізу синдрому відповідного стовпця.

Аналогічно, якщо спотворено два і більше інформаційних символи, які розміщені в одному стовпці то виправлення помилок відбувається по аналізу синдрому відповідного, рядка.

Для виправлення помилок в інформаційних символах розміщених в $n-1$ рядку і $n-1$ стовпцю необхідно розв'язати рівняння:

$$(v_1 \cdot (b'_{i,1} - b_{i,1}) + v_2 \cdot (b'_{i,2} - b_{i,2}) + \dots + v_i \cdot (b'_{i,j} - b_{i,j}) + \dots + v_n \cdot (b'_{i,n} - b_{i,n})) \bmod p = d_{i,1} \tag{4}$$

якщо найбільший спільний дільник $\gcd(v_i, p) = 1$, тобто (v_i, p) - взаємно прості числа то рівняння (4) має єдиний розв'язок, який буде відповідати правильним інформаційних символам.

Розглянемо приклад передавання даних, які сформовані у вигляді матриці розміром $n \times n$, при $n = 8$, $m = 8$, де n – розмірність матриці даних, m – розрядність інформаційних символів.

$b_{1,1}$	$b_{1,2}$	$b_{1,3}$	$b_{1,4}$	$b_{1,5}$	$b_{1,6}$	$b_{1,7}$	$b_{1,8}$	$b_{1,9}$
$b_{2,1}$	$b_{2,2}$	$b_{2,3}$	$b_{2,4}$	$b_{2,5}$	$b_{2,6}$	$b_{2,7}$	$b_{2,8}$	$b_{2,9}$
$b_{3,1}$	$b_{3,2}$	$b_{3,3}$	$b_{3,4}$	$b_{3,5}$	$b_{3,6}$	$b_{3,7}$	$b_{3,8}$	$b_{3,9}$
$b_{4,1}$	$b_{4,2}$	$b_{4,3}$	$b_{4,4}$	$b_{4,5}$	$b_{4,6}$	$b_{4,7}$	$b_{4,8}$	$b_{4,9}$
$b_{5,1}$	$b_{5,2}$	$b_{5,3}$	$b_{5,4}$	$b_{5,5}$	$b_{5,6}$	$b_{5,7}$	$b_{5,8}$	$b_{5,9}$
$b_{6,1}$	$b_{6,2}$	$b_{6,3}$	$b_{6,4}$	$b_{6,5}$	$b_{6,6}$	$b_{6,7}$	$b_{6,8}$	$b_{6,9}$
$b_{7,1}$	$b_{7,2}$	$b_{7,3}$	$b_{7,4}$	$b_{7,5}$	$b_{7,6}$	$b_{7,7}$	$b_{7,8}$	$b_{7,9}$
$b_{8,1}$	$b_{8,2}$	$b_{8,3}$	$b_{8,4}$	$b_{8,5}$	$b_{8,6}$	$b_{8,7}$	$b_{8,8}$	$b_{8,9}$
$b_{9,1}$	$b_{9,2}$	$b_{9,3}$	$b_{9,4}$	$b_{9,5}$	$b_{9,6}$	$b_{9,7}$	$b_{9,8}$	

Значення взаємно простих коефіцієнтів v_i та контрольного модулю p , знайдені експериментально за допомогою розробленого програмного забезпечення, становлять $p = 131071$, $v_1 = 211$, $v_2 = 257$, $v_3 = 263$, $v_4 = 269$, $v_5 = 271$, $v_6 = 277$, $v_7 = 281$, $v_8 = 283$, $p = 131071$.

В таблиці 1 приведені значення синдрому, для всіх можливих варіантів помилок x_j , розрахованих за формулою:

$$\delta_{ij} = v_j \cdot x_i \pmod{p}, \quad 1 \leq j \leq 8.$$

Для інформаційних символів розрядності 8 біт значення помилки знаходиться в діапазоні: $-255 \leq x_j \leq 255$.

Таблиця 1

Значення синдрому для восьми інформаційних символів

Значення помилки: x_j	Значення синдрому: d_{i1}	Значення синдрому: d_{i2}	Значення синдрому: d_{i3}	Значення синдрому: d_{i4}	Значення синдрому: d_{i5}	Значення синдрому: d_{i6}	Значення синдрому: d_{i7}	Значення синдрому: d_{i8}
1	211	257	263	269	271	277	281	283
2	422	514	526	538	542	554	562	566
3	633	771	789	807	813	831	843	849
4	844	1028	1052	1076	1084	1108	1124	1132
...			
255	53805	65535	67065	68595	69105	70635	71655	72165
-1	130860	130814	130808	130802	130800	130794	130790	130788
-2	130649	130557	130545	130533	130529	130517	130509	130505
-3	130438	130300	130282	130264	130258	130240	130228	130222
-4	130227	130043	130019	129995	129987	129963	129947	129939
...			
-255	77266	65536	64006	62476	61966	60436	59416	58906

Алгоритм кодування складається з наступних кроків:

1. З даних, які підлягають передачі формується матриця розміру $n \times n$.
2. Вибирається перевірочний модуль p та взаємно прості коефіцієнти $v_1, \dots, v_i, \dots, v_n$.
3. За формулою (1) обчислюються перевірочні символи по рядках матриці.
4. За формулою (2) обчислюються перевірочні символи по стовпцях матриці.

Алгоритм виявлення помилок складається з наступних кроків:

1. З отриманих даних, формується матриця розміру $n \times n$.
2. За формулою (1) обчислюються перевірочні символи по рядках матриці.
3. За формулою (2) обчислюються перевірочні символи по стовпцях матриці.
4. Обчислюється синдром $\delta_{i,j} = (b'_{i,j} - b_{i,j}) \pmod{p}$ по рядках і стовпцях матриці даних.
5. При $\delta_{i,j} = 0$, відповідно $b_{i,j} = b'_{i,j}$, отже помилки немає.
6. Якщо $\delta_{i,j} \neq 0$, помилка виявлена.

Алгоритм виправлення помилок складається з наступних кроків:

При спотворенні одного інформаційного символу значення синдрому на перетині рядка і стовпця не дорівнює нулю.

Розглянемо можливі випадки спотворення інформаційних символів.

1. Синдром не дорівнює нулю тільки в одному рядку і стовпці. Спотворення зазнав символ на перетині відповідного рядка і стовпця. Виправлення помилок відбувається по таблиці синдромів (табл.1).

2. Значення синдрому $\delta_{i,j} \neq 0$ в двох і більше рядках і одному стовпці. Спотворення зазнали

інформаційні символи, які знаходяться в одному стовпці. Виправлення помилок відбувається по таблиці синдромів (табл. 1).

3. Значення синдрому $\delta_{i,j} \neq 0$ в двох і більше стовпцях і одному рядку. Спотворення зазнали інформаційні символи, які знаходяться в одному рядку. Виправлення помилок відбувається по таблиці синдромів (табл. 1).

4. Значення синдрому $\delta_{i,j} \neq 0$ в двох і більше рядках і стовпцях. Для виправлення помилок необхідно розв'язати рівняння:

$$(v_1 \cdot (b'_{1,1} - b_{1,1}) + v_2 \cdot (b'_{1,2} - b_{1,2}) + \dots + v_i \cdot (b'_{i,j} - b_{i,j}) + \dots + v_n \cdot (b'_{1,n} - b_{1,n})) \bmod p = d_{1,j} \quad (5)$$

Припустимо, що помилки відбулися в чотирьох символах, розміщених на перетині двох рядків і двох стовпців, так як при відсутності помилки $b'_{i,j} - b_{i,j} = 0$, то з рівняння (5) запишемо систему рівнянь:

$$\begin{cases} (v_1 \cdot (b'_{1,1} - b_{1,1}) + v_2 \cdot (b'_{1,2} - b_{1,2})) \bmod p = \delta_{1,1} \\ (v_1 \cdot (b'_{2,1} - b_{2,1}) + v_2 \cdot (b'_{2,2} - b_{2,2})) \bmod p = \delta_{2,1} \\ (v_1 \cdot (b'_{1,1} - b_{1,1}) + v_2 \cdot (b'_{2,1} - b_{2,1})) \bmod p = \delta_{1,2} \\ (v_1 \cdot (b'_{1,2} - b_{1,2}) + v_2 \cdot (b'_{2,2} - b_{2,2})) \bmod p = \delta_{2,2} \end{cases} \quad (6)$$

розв'язком даної системи рівнянь будуть скоректовані інформаційні символи $b_{1,1}$, $b_{1,2}$, $b_{2,1}$, $b_{2,2}$. Так як коефіцієнти v_i і p – взаємно прості числа то система рівнянь (6) має єдиний розв'язок в цілих числах.

Висновки

Запропоновані двовимірні коректуючі коди на основі модулярної арифметики забезпечують виявлення та виправлення n помилок, які знаходяться в одному рядку або стовпці матриці даних, $2 \cdot n - 1$ помилок, які знаходяться в одному рядку і стовпці а також блок помилок розміром $(n - 1) \times (n - 1)$.

Література

1. S. L. Howard, C. Schlegel, K. Iniewski, "Error control coding in low-power wireless sensor networks: When is ECC energy-efficient?", EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2006. Vol. 2. P. 1–14.
2. Omondi, B. Premkumar, Residue Number System: Theory and Implementation. Imperial College Press, 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. Vik Tor Goh, Mohammad Umar Siddiqi, Multiple error detection and correction based on redundant residue number systems, Communications, IEEE Transactions, 2008. P. 325–330.
5. Ya.M. Nykolaychuk, M.M. Kasianchuk, I.Z. Yakymenko, "Theoretical Foundations for the Analytical Computation of Coefficients of Basic Numbers of Krestenson's Transformation", Cybernetics and Systems Analysis. 2014. Vol. 50. P. 649–654.
6. Акушский И.Я. Вопросы помехоустойчивого кодирования в непозиционном коде / И.Я. Акушский, И.Т. Пак // Вопросы кибернетики. – 1977. – Т. 28. – С. 36–56.
7. Yatskiv V., Yatskiv N., Su Jun, Sachenko A., Hu Zhengbing, "The Use of Modified Correction Code Based on Residue Number System in WSN", Proceedings of the 7-th2013 IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems, IDAACS'2013, Berlin, Germany. 2013. Volume 1. P. 513–516.
8. Яцків В. В. Методи виконання модулярних операцій та їх реалізація на ПЛІС / В. В. Яцків // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2014. – № 6. – С. 218–224.

References

1. S. L. Howard, C. Schlegel, K. Iniewski, "Error control coding in low-power wireless sensor networks: When is ECC energy-efficient?", EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2006. Vol. 2. P. 1–14.
2. Omondi, B. Premkumar, Residue Number System: Theory and Implementation. Imperial College Press, 2007. 296 p.
3. I.YA. Akushskiy, D.I. Yuditskiy, Mashinnaya arifmetika v ostatochnykh klassakh, M.: Sov. Radio. 1968. 460 s.
4. Vik Tor Goh, Mohammad Umar Siddiqi, Multiple error detection and correction based on redundant residue number systems, Communications, IEEE Transactions, 2008. P. 325–330.
5. Ya.M. Nykolaychuk, M.M. Kasianchuk, I.Z. Yakymenko, "Theoretical Foundations for the Analytical Computation of Coefficients of Basic Numbers of Krestenson's Transformation", Cybernetics and Systems Analysis. 2014. Vol. 50. P. 649–654.
6. Y. YA. Akushskyy, Y.T. Pak, "Voprosy pomekhoustoychyvoho kodyrovanyya v nepozytsyonnom kode", Voprosy kybernetyky. 1977. T. 28. S. 36-56.
7. Yatskiv V., Yatskiv N., Su Jun, Sachenko A., Hu Zhengbing, "The Use of Modified Correction Code Based on Residue Number System in WSN", Proceedings of the 7-th2013 IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems, IDAACS'2013, Berlin, Germany. 2013. Volume 1. P. 513–516.
8. V. V. Yatskiv, "Metody vykonannya modulyarnykh operatsiy ta yikh realizatsiya na PLIS", Herald of khmelnytskyi National University, 2014. Issue 6. P. 218–224.