

УДК 681.03

Янко А.С., к.т.н.,
Свистун В.М., студент,
Полтавський національний технічний
університет імені Юрія Кондратюка

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

В статті розглянуто теоретичні відомості про систему залишкових класів (СЗК). Сформульовано принципи обробки інформації у СЗК. Проведено дослідження впливу основних властивостей СЗК на архітектуру та принципи функціонування спеціалізованого обчислювального пристрою (СОП). Розроблено та досліджено структуру СОП у СЗК. Розроблено математичну модель надійності СОП у СЗК. Проведено порівняльний аналіз надійності СОП у СЗК.

Ключові слова: *автоматизована система керування, електронно-обчислювальна машина, система залишкових класів, спеціалізований обчислювальний пристрій, позиційна система числення.*

Вступ

Тенденція розвитку автоматизованих систем керування (АСК) загального і спеціального призначення свідчить про широке впровадження спеціалізованих обчислювальних пристроїв (СОП), які здатні підвищувати ефективність функціонування комплексів технічних засобів. Під СОП будемо розуміти ЕОМ, які орієнтовані на розв'язання постійного класу задач (типових алгоритмів). Сьогодні надзвичайно широко використовуються АСК різного призначення на основі СОП. Такі розробки повинні мати комплексний характер. Задачі, які розв'язуються спеціалізованими електронно-обчислювальними машинами

(СЕОМ), зручно розділити на два класи – основні та допоміжні. Метою вирішення основних задач є правильне та надійне функціонування технічних систем. Для цього необхідно значний об'єм пам'яті і велика користувальна продуктивність СЕОМ, інтерполяція і екстраполяція функцій, розв'язання систем алгебраїчних і диференціальних рівнянь, представлення інформації в зручному для сприйняття людини – оператора вигляді тощо. Теоретичною базою для вирішення даних задач є чисельні методи, які потребують значних обчислювальних ресурсів СЕОМ. Допоміжні задачі спрямовані на ефективне розв'язання функціональних задач, які поділяють на декілька груп: задачі, розв'язання яких забезпечує розширення можливостей системи команд СЕОМ; задачі, розв'язання котрих забезпечує ефективну організацію обчислювального процесу в різних режимах функціонування ЕОМ; задачі контролю і технічної діагностики.

Для СОП, які функціонують в позиційних системах числення (ПСЧ), методи підвищення відмовостійкості базуються на використанні різних видів резервування: структурного, інформаційного, часового, навантажувального і функціонального. Основна ідея організації відмовостійкості СОП є такою: спочатку, за рахунок наявної (або штучно введеної) надлишковості визначається несправний блок ЕОМ, після чого відмова (збій) усувається шляхом виключення цього блоку з процесу функціонування. Слід зазначити ще раз, що процес пошуку та місця відмови (збою) та її усунення повинен відбуватися одночасно з виконанням основної задачі обчислень і не впливати на стабільність функціонування СОП.

Таким чином, для АСК характерні і дуже важливі вимоги по забезпеченню високої користувальної продуктивності, надійності та відмовостійкості СОП.

Аналіз структури спеціалізованого обчислювального пристрою

Основною частиною СОП є мікроконтролер, структурна схема якого представлена на Рис 1.

Сигнал з виходу електронного лічильника зчитується мікропроцесорним пристроєм, обробляється та надходить до приймача-передавача.

Мікропроцесорний пристрій являє собою мікроЕОМ із мінімальними необхідними функціональними можливостями. Приймач-передавач виконує функції гальванічної розв'язки, посилення та формування мережних сигналів.

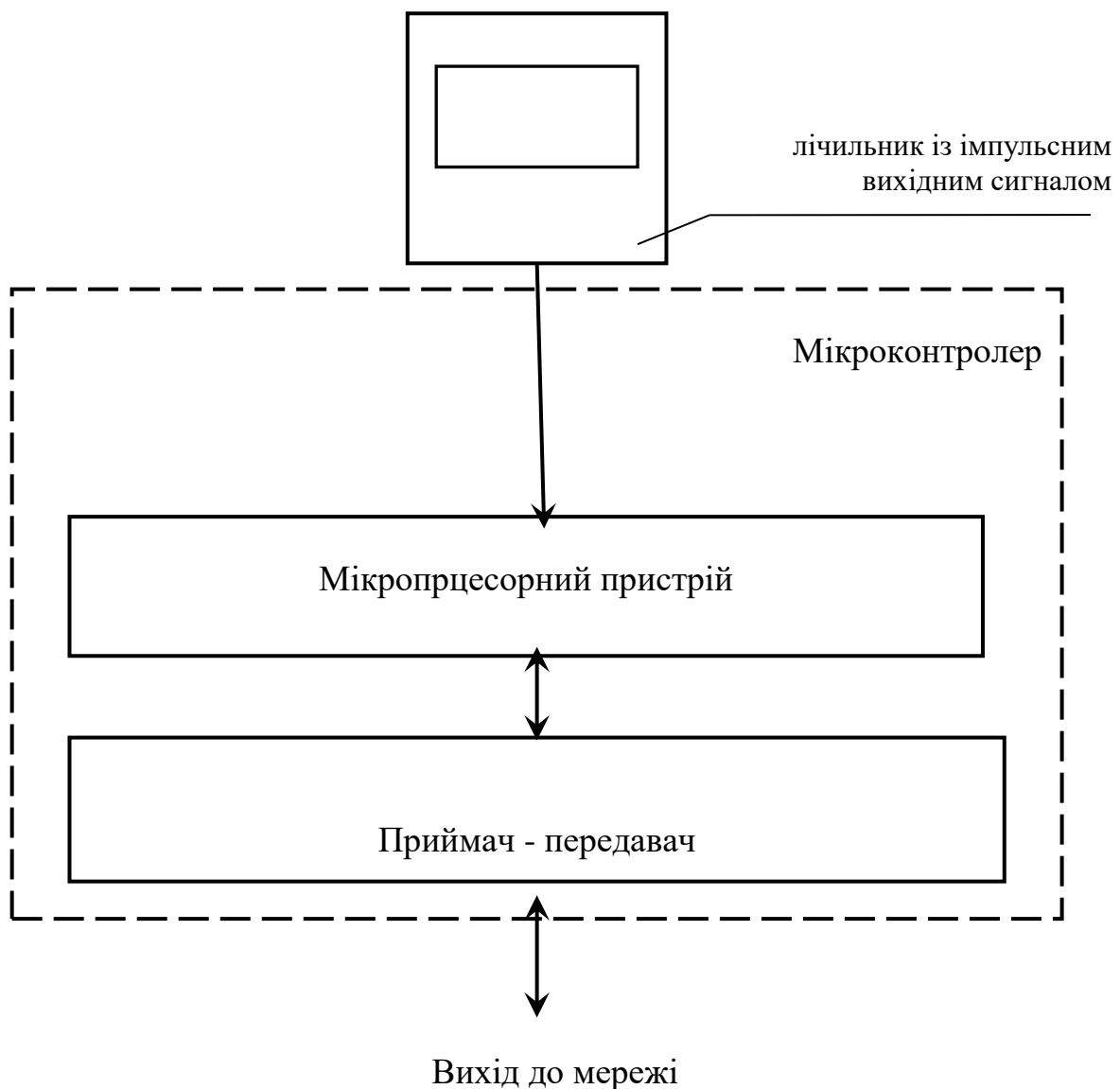


Рис. 1. Структура мікроконтролера СОП

У цьому напрямку цікаво розглянути приклад використання непозиційної системи числення у залишкових класах (СЗК) для побудови обчислювального пристрою автоматизованої системи контролю та обліку електроенергії.

У СЗК операнд має вигляд:

$$A = (a_1, a_2, \dots, a_n), \quad (1)$$

$$a_i = A \pmod{m_i}, \quad (2)$$

де: $i = 1, 2, \dots, n$; n – загальна кількість модулів СЗК.

Тоді загальна схема обробки інформації матиме такий вигляд (Рис. 2). У цьому випадку схема обчислювального пристрою набуває вигляд мультипроцесорної обчислювальної системи (Рис. 3).

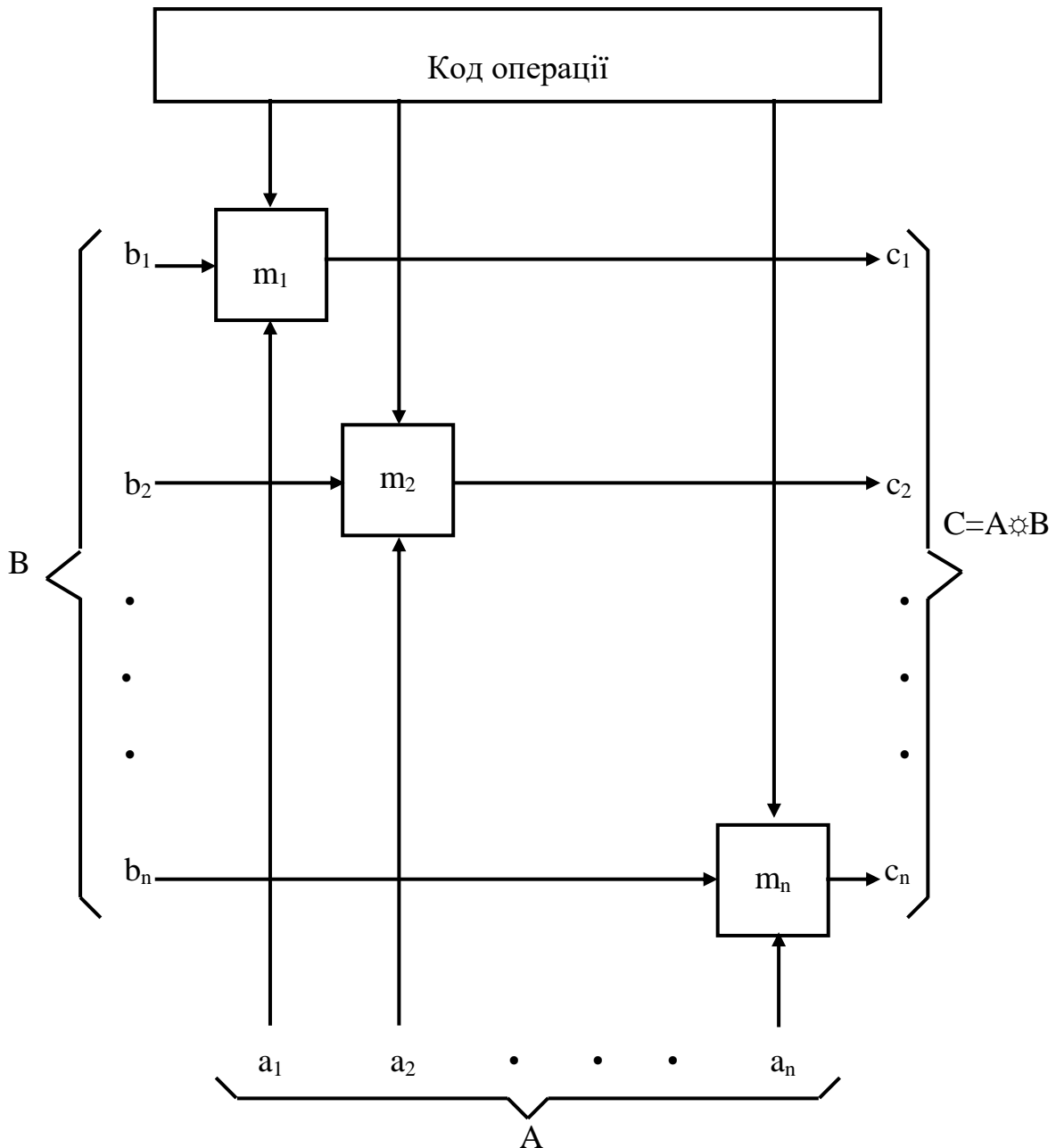


Рис. 2. Обробка інформації в системі залишкових класів

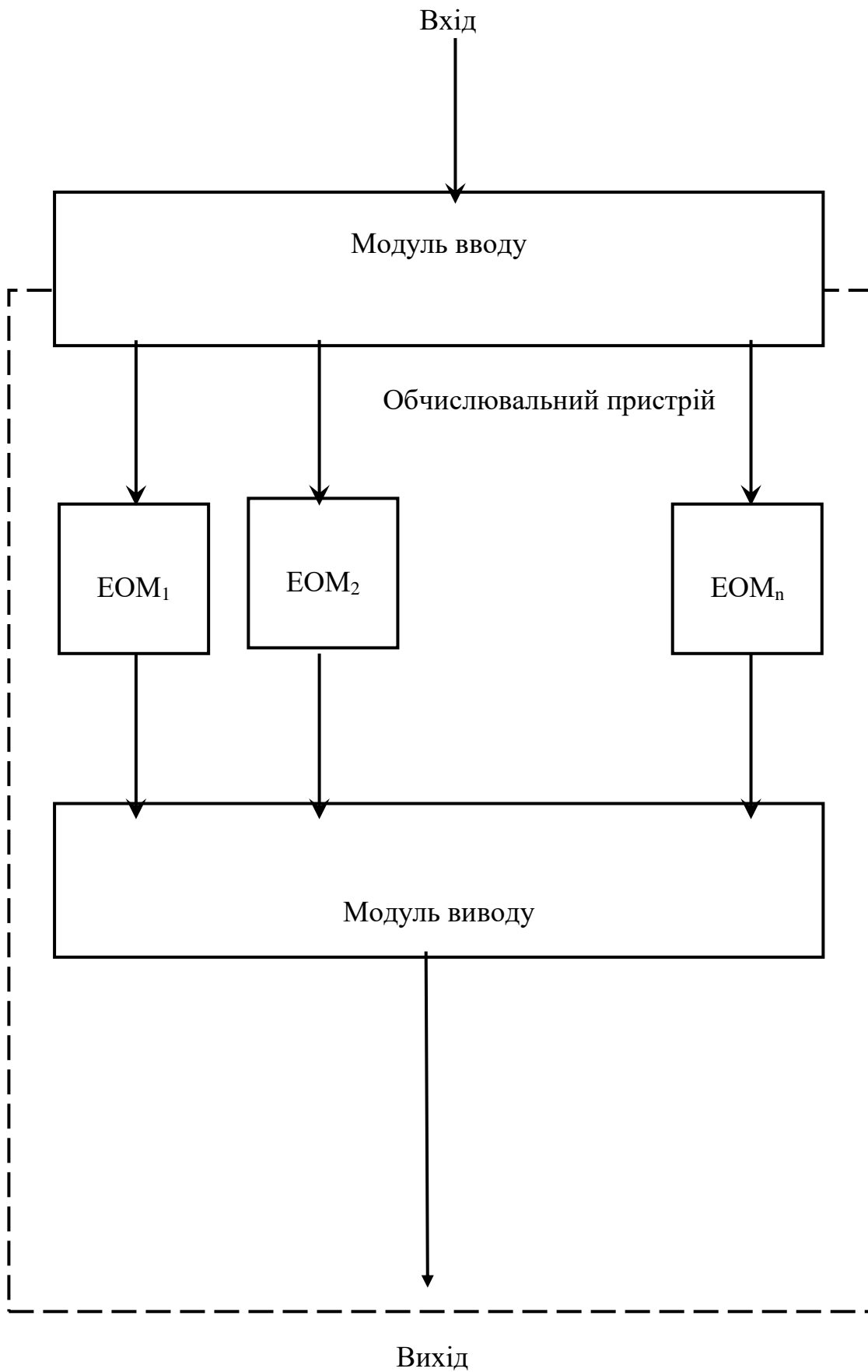


Рис. 3. Обчислювальний пристрій в системі залишкових класів

Дослідження методів підвищення продуктивності та надійності СОП

Від початку розвитку обчислювальної техніки найбільш важливими її характеристиками стали швидкодія (продуктивність) та надійність. Незважаючи на розбіжності серед різних дослідників у визначенні продуктивності ЕОМ, у даному випадку нас цікавить користувальна продуктивність тобто час виконання окремої конкретної задачі. Саме таке визначення і слід спиратись при розробці АСК на базі СЕОМ. Існує чимало різноманітних методів підвищення продуктивності ЕОМ. Найбільш широко розповсюджені полягають у застосуванні багатомашинних комплексів та багатопроцесорних систем. Проте, такі методи, підвищуючи системну продуктивність, суттєво не впливають на користувальну продуктивність. Більш перспективними методами підвищення користувальної продуктивності ЕОМ є такі, що враховують особливості задач (алгоритмів) певного класу: природній паралелізм суміжних операцій; природній паралелізм незалежних гілок алгоритму, який необхідно вирішити; паралелізм множини об'єктів тощо; а також методи, які дозволяють штучно розпаралелити деякі обчислення. Проте, сфера їх застосування обмежується класом (типом) задач, що підлягають вирішенню. Окрім того, штучне розпаралелення алгоритмів, визначення і виділення гілок є досить трудомістким і не завжди можливим.

Відомі методи підвищення продуктивності ЕОМ, які функціонують в позиційних системах числення (ПСЧ), мають загальний недолік – неможливість розпаралелення алгоритму, який розв'язується, на рівні елементарних операцій (мікро операцій). Це обумовлено, перш за все, наявністю у ПСЧ між розрядних зв'язків між операндами системи. Розвиток сучасної мікроелектронної бази, основаної на застосуванні великих і над великих інтегральних схем, спонукає до дослідження можливості застосування табличних методів обробки інформації. Їх застосування може забезпечити надвисоку продуктивність (в результаті розпаралелення елементарних операцій) і надійність ЕОМ, а також

високу степінь регулярності і однорідності структури пристроїв їх реалізації. Істотним недоліком табличних методів обробки інформації, які застосовуються в ПСЧ, залишається необхідність використання значної кількості обладнання [1], що суттєво ускладнює їх реалізацію.

Складність, масштаби і об'єм задач керування, які розв'язуються ЕОМ потребує розширення функцій і можливостей засобів обчислювальної техніки, що призводить до збільшення кількості обладнання обчислювальних пристроїв, ускладнює структуру ЕОМ та її математичне забезпечення. Це, в свою чергу, викликає необхідність впровадження додаткових заходів щодо забезпеченню високої надійності функціонування ЕОМ і високої живучості ОП.

Існує два основних методи підвищення надійності ОП (обчислювального пристрою), яка функціонує в ПСЧ, це: підвищення надійності окремих логічних елементів (використання нової елементної бази) та введення різних типів надлишковості (застосування різних типів резервування, які впливають як на його конструкцію, так і на функціональну надійність логічних елементів ЕОМ). Оскільки надійність логічних елементів ЕОМ визначається рівнем розвитку технологій, то очевидним є те, що введення надлишковості при використанні будь-якої елементної бази є найбільш ефективним шляхом підвищення надійності ЕОМ. Різноманітність умов і жорсткість вимог (необхідність забезпечення високої точності обчислень, високої продуктивності функціонування ЕОМ у реальному масштабі часу, неможливість самооновлення після відмов і збоїв тощо), які накладаються на режим функціонування і експлуатації керуючих ЕОМ, не завжди дозволяють застосувати тимчасове та інформаційне резервування. У наслідок цього одним із найбільш ефективних практичних методів підвищення надійності ЕОМ є структурне резервування, наприклад, на рівні потроєної мажоритарної структури. Однак, застосування структурного резервування в ПСЧ значно ускладнює структуру обчислювального комплексу, підвищує його енергоспоживання, збільшує масогабаритні та інші показники, що, врешті, підвищує вартість його створення і експлуатації, а також обмежує сферу його

використання. Ця обставина викликає необхідність розробки і застосування принципово нових методів підвищення продуктивності і надійності ЕОМ, зокрема, таких, що ґрунтуються на застосуванні кодів у СЗК.

Першим поштовхом до дослідження СЗК стали опубліковані у 1955 – 1960 роках роботи чеських вчених М. Валаха та А. Свободи. Значний внесок в розвиток кодування у залишках і використання його для побудови надпродуктивних і відмовостійких ЕОМ внесли радянські вчені Акушський І.Я., Євстігнеєв В.Г., Юдицький Д.Г., Долгов А.І., Амербаєв В.М., Барсов В.І., Торгашев В.А. та інші. Теоретичними основами для створення числової системи у залишкових класах виявився широко відомий у теорії чисел розділ порівнянь. У 1955 – 1957 роках А. Свобода, М. Валах та інші вчені вказали на можливість без надлишкового кодування чисел в ЕОМ за допомогою набору залишків $\{a_i\}$ від ділення чисел на взаємно попарні прості натуральні числа $\{m_i\}$, $i = 1, m$, які мають назву основ чи модулів СЗК.

Задача відновлення числа A_k по сукупності його залишків $\{a_i\}$ відома давно як “Китайська теорема про залишки”, але цікавість до неї виникла з початком практичних досліджень, присвячених пошукам шляхів ефективного підвищення продуктивності ЕОМ. Коди у класі залишків стали подальшим удосконаленням відомих арифметичних багато залишкових кодів. Так багато залишковий код має вигляд:

$$A_k^1 = (A_k, A_k(\bmod m_1), A_k(\bmod m_2), \dots, A_k(\bmod m_i), \dots, A_k(\bmod m_{n-1}), A_k(\bmod m_n)); \quad (3)$$

Тобто:

$$A_k^1 = (A_k, a_1, a_2, \dots, a_n), \quad (4)$$

де: $a_i = A_k - [A_k / m_i] \cdot m_i$; ($i=1 \dots n$).

При $\prod(m_i / A_k)$ сукупність залишків $\{a_i\}$ однозначно визначає операнд A_k і багатозалишковий код приймає вигляд кода у СЗК: $A_k = (a_1, a_2, \dots, a_n)$, що дозволяє реалізувати модульні операції у окремих незалежних трактах, оперуючи тільки залишками $\{a_i\}$.

Таке кодування чисел дозволяє побудувати обчислювальний пристрій в якому обробка всіх розрядів числа (залишків a_i) відбувається паралельно в часі. Тому структурна схема ЕОМ в СЗК являє собою набір окремих ЕОМ, які функціонують незалежно одна від одної і паралельно в часі, при чому кожна по своєму визначеному модулю m_i . В цьому випадку пристрої вводу і вивода ЕОМ вирішують задачі перетворення вхідної і вихідної інформації із позиційного кода в код СЗК і навпаки [2].

В процесі досліджень специфіки і можливостей непозиційних кодових структур Акушським І.Я. та декількома іншими вченими був знайдений шлях практичної реалізації коректуючих кодів, які придатні для знаходження та виправлення помилок при обробці інформації в динаміці обчислювального процесу, що особливо важливо для організації відмовостійкого функціонування в першу чергу бортових ЕОМ.

Торгашев В.А. показав, що застосування кодів в класі залишків дозволяє в процесі розв'язання змінювати кількісне співвідношення між кількістю інформаційних і контрольних основ СЗК. Це дозволяє гнучко використовувати резерви по продуктивності, точності і вірогідності обчислень ЕОМ. Дана обставина вказує на можливість забезпечення необхідного рівня живучості ЕОМ в СЗК шляхом організації процесу відмовостійкості функціонування ЕОМ за рахунок застосування принципу адаптації, наприклад, на основі використання метода поступової деградації.

Результати теоретичних досліджень Долгова А.І. визначили, що апаратні засоби обробки інформації в СЗК відносяться до таких, які легко контролювати і діагностувати. Це обумовлено специфічними особливостями представлення і обробки непозиційних кодових структур в СЗК і характером проявлення в них відмов і збоїв. Ця особливість кодів в СЗК сприяє створенню перспективних архітектур ЕОМ, які здатні до перебудови структури, що створює передумови до синтезу адаптивних обчислювальних структур.

В наукових працях Акушського І.Я., Юдицького Д.І. та інших вчених вказано, що використання СЗК дозволяє створити аналогову ЕОМ, яка працює з

будь – якою заданою точністю. Нарощування точності аналогової ЕОМ в СЗК буде відбуватися за рахунок збільшення кількості відносно непроцесійного обладнання, тобто додаванням деякої кількості елементарних аналогових обчислювальних пристроїв, які працюють по контрольним основам m_{n+1} , m_{n+2} , . . . , m_{n+k} взаємно попарно простими між собою і між інформаційними основами СЗК.

Акушським І.Я., Амербаєвим В.М. та іншими вченими проведено дослідження в області застосування непозиційних кодових структур СЗК в комплексній області. У відповідності з результатами першої теореми Гаусса виконання раціональних операцій над найменшими комплексними залишками можна замінити виконанням тих же операцій над відповідними їм натуральними залишками по натуральному модулю, рівному нормі комплексного модуля. Окрім того, Коляда А.А. та інші вчені переконливо показали, що застосування СЗК для обробки інформації в гіперкомплексній області відкриває широкі перспективи для створення ефективних алгоритмів керування складними технічними об'єктами на основі використання багатовимірних функціональних пристроїв різних видів.

На сьогодні ведуться інтенсивні пошуки нових аспектів використання СЗК. Так Євстігнєєвим В.Г. розроблено новий науковий напрямок в області побудови позиційно – залишкових кодових структур і створена нова позиційно – залишкова система числення. Використання ПСЧ відкриває широкі перспективи для побудови високовідмовостійких та швидкодіючих ЕОМ.

Відмітимо, що СЗК не являється системою числення в прямому сенсі. Дійсно, основи (модулі) СЗК зв'язані одне з одним так, що вони вибираються деяким чином і закріплюються постійними для даної системи числення в залишкових класах. Кожний залишок по модулю інформаційно незалежний від інших залишків, але в межах кожного залишка при реалізації арифметичних операцій використовується ПСЧ (як правило двійкова). Таким чином, систему залишкових класів правильно визначити не як систему числення, а як особливу конструкцію кодових числових структур, тобто спеціальним чином

закодований блок інформації. Розвиток обчислювальної техніки призвів до розповсюдження поняття “система числення” не тільки на позиційні системи числення (десятькова, двійкова тощо), але й на непозиційні (римська, система залишкових класів). Цим можна пояснити те, що сьогодні СЗК іменується системою числення.

В ЕОМ дії виконуються над числами, які представлені у вигляді спеціальних машинних кодів у прийнятій для даної ЕОМ СЧ. Під системою числення розуміється спосіб вираження і позначення чисел за допомогою символів, які мають певні кількісні значення. Символи, які застосовуються для зображення чисел, мають назви цифр. В залежності від способу зображення чисел за допомогою цифр системи числення, які існують, поділяють на позиційні та непозиційні [3].

Позиційною називається система числення, в якій кількісне значення кожної цифри розряду залежить від її місця (позиції) в початковому числі. В ПСЧ будь яке число зображається у вигляді послідовності цифр заданої ПСЧ:

$$A = (a_{p-1}, a_{p-2}, \dots, a_1, a_0); \quad (5)$$

де p - розрядність операндів.

При чому, кожна цифра a_i (5) може приймати одне із можливих значень $0 \leq a_i \leq q - 1$. Кількість q різних цифр, які використовуються для зображення чисел в ПСЧ, називаються основами q -тої системи числення.

В ЕОМ найбільш просто реалізуються процеси виконання арифметичних і логічних операцій над операндами, які представлені в двійковому коді ($q = 2$), тобто в двійковій системі числення. Тоді операнд (5) матиме наступний вигляд:

$$A = a_{p-1} \cdot 2^{p-1} + a_{p-2} \cdot 2^{p-2} + \dots + a_1 \cdot 2 + a_0; \quad (6)$$

де $a_i = 0, 1$.

Багаторозрядні двійкові числа додаються, віднімаються, перемножуються і діляться по тим же правилам, що і в десятковій СЧ. Так як операція додавання грає основну роль в обчислювальному процесі ЕОМ, то розглянемо її більш детально. При додаванні цифр в одному двійковому розряді для операндів A та B доводиться оперувати трьома величинами: цифрами першого a_i і другого b_i

доданків i -го розряду, а також результатом переносу c_{i-1} в даний i -тий розряд із більш молодшого $i - 1$ -шого розряду ($a_i, b_i, c_{i-1} \in \{0,1\}$). Після додавання отримуються дві цифри: результат суми $S_i = a_i + b_i + c_{i-1}$ (таблиця 1) і результат переносу c_i із одного розряду в наступний старший, тобто в $i + 1$ -ший. Алгоритм додавання, який використовується в однорозрядному позиційному суматорі, представлено в таблиці 2.

Приклад: додати два операнди, які мають двійкового кода $A_{10} = 1010$, $A_6 = 0110$.

$$\begin{array}{rcccccc}
 A_{10} & = & & 1 & 0 & 1 & 0 \\
 + & & & + & + & + & + \\
 A_6 & = & & 0 & 1 & 1 & 0 \\
 A_{16} & = & 1 & 0 & 0 & 0 & 0
 \end{array}$$

Очевидно, що перевагами ПСЧ є компактність запису чисел та можливість зведення арифметичних операцій над операндами до аналогічних дій над цифрами. Самою головною перевагою ПСЧ являється її “звичність”, так в ЕОМ міцно завоювала собі місце двійкова ПСЧ. Традиційний підхід до створення ЕОМ, заснований на застосуванні двійкової ПСЧ, не дозволяє кардинально покращити її основні характеристики, такі як продуктивність, надійність та відмовостійкість.

Таблиця 1. Додавання двох цифр a_i та b_i і результат переносу c_i

a_i	b_i	c_i
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Таблиця 2. Алгоритм додавання однорозрядного позиційного суматора

Входи суматора			Виходи суматора	
a_i	b_i	C_{i-1}	S_i	c_i
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

Виходячи з викладеного, основна складність при реалізації арифметичних операцій в ПСЧ – це організація процесу створення і розповсюдження цифр переносу між двійковими розрядами операндів, які обробляються. Наявність міжрозрядних зв'язків впливає на процес “розмноження” помилки, тобто помилка, яка виникла в одному двійковому розряді, в процесі переносу від молодших розрядів до старших, розповсюджується по всій довжині машинного слова. Алгоритмічний зв'язок в ПСЧ всіх двійкових розрядів операндів між собою обумовлює той факт, що одинична відмова (збій) схеми обробки двійкового розряду операційного пристрою ЕОМ здатна викликати не однократну, а багатократні помилки в машинному слові. При відмові (збої) схеми обробки i -го двійкового розряду, помилка при створенні суми, а також в наступному $i + 1$ -шому розряді може виникнути в наступних випадках (Рис. 4):

– в процесі формування суми $S_i = a_i \vee b_i \vee c_{i-1}$, тобто на виході i -го двійкового розряду;

– в процесі переносу значення c_i , із-за відмов елементів в колах переносу або за рахунок збоїв.

В цьому випадку на схему обробки $i + 1$ -шого двійкового розряду може надходити замість значення c_i , величина c_i , яка породжує помилки в схемі $i + 1$ -шого двійкового розряду, тобто відбувається викривлення значення c_{i+1} та S_{i+1} , де:

$$C_{i+1} = (a_{i+1} \wedge b_{i+1}) \vee (a_{i+1} \vee b_{i+1}) \wedge c_i; \quad (7)$$

$$S_{i+1} = a_{i+1} \vee b_{i+1} \vee c_i. \quad (8)$$

Таким чином, наявність в ПСЧ міжрозрядних зв'язків обумовлює ефект “розмноження” помилки, що веде до різкого збільшення імовірності отримання помилкового результату операції. Разом з тим алгоритмічна залежність вмісту двійкових розрядів і необхідність врахування величини розрядної сітки ЕОМ обумовлюють тривалість виконання арифметичних операцій (через те, що доводиться чекати кінця розповсюдження переносів на всю довжину машинного слова). В [4] дано аналітичні співвідношення для визначення часу реалізації арифметичних операцій додавання $t_d = \tau(2p - 1)$ і множення $t_{mn} = 2\tau p$ в ПСЧ, де τ – час “руху” вмісту одного двійкового розряду (час спрацювання тригера).

Отже, основний недолік обчислювальних засобів в ПСЧ – низька надійність функціонування і значний час реалізації арифметичних операцій. Щоб усунути ці недоліки слід знайти шляхи використання нетрадиційних методів підвищення надійності обчислень без зниження користувальної продуктивності.

Один із можливих шляхів – залучення нових оригінальних ідей в область машинної арифметики, які дозволили б послабити або усунути всі міжрозрядні зв'язки. Виявилося, що така машина арифметика може бути створена на основі теорії порівняння. Спираючись на фундаментальні поняття і положення цієї теорії вдалося створити оригінальну систему числення в залишкових класах,

в якій число (операнд) A являє набір найменших залишків $\{a_i\}$ від послідовного ділення операнда A на сукупність взаємно попарно простих чисел $\{m_i\}$.

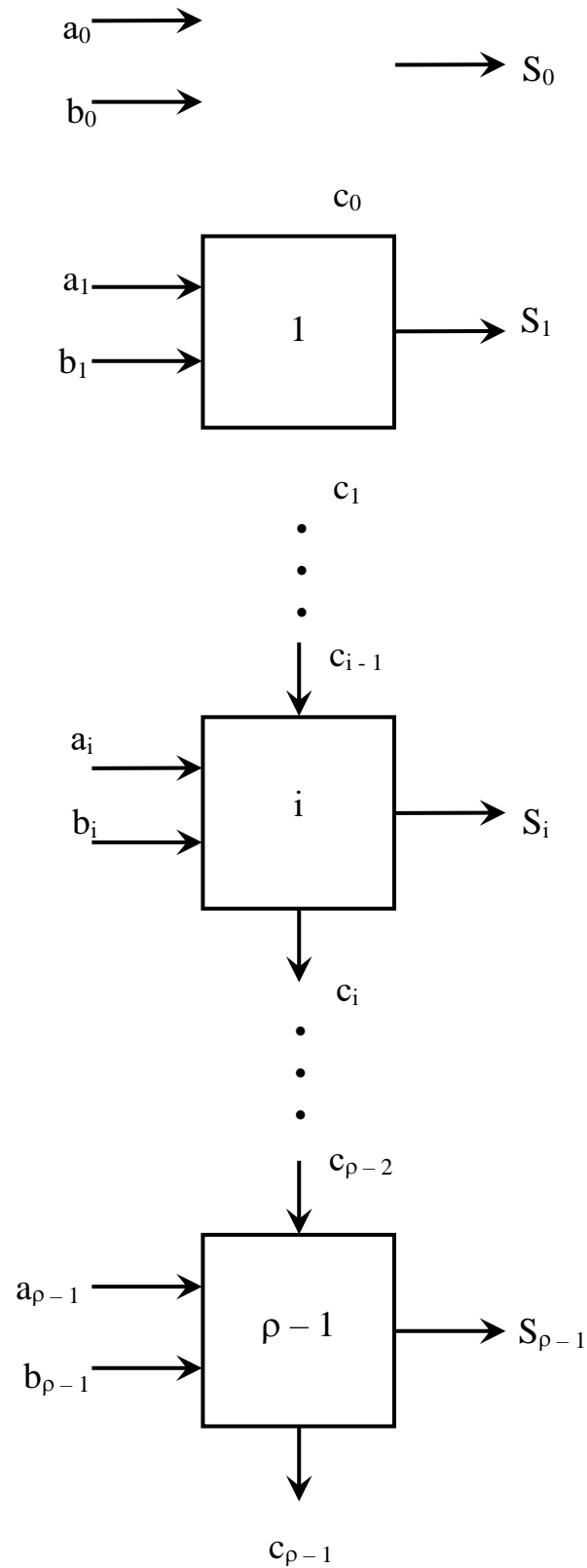


Рис. 4. Структурна схема двійкового позиційного суматора

Висновок

В результаті використання непозиційної системи числення та властивостей СЗК створена унікальна система контролю і корекції помилок в динаміці обчислюваного процесу при введенні мінімальної кодової надлишковості. Характерною особливістю такої організації контролю і корекції помилок являється їх виправлення без зупинки обчислень, що особливо важливе для СОП, який функціонує в реальному масштабі часу. В роботі показана можливість ефективного використання непозиційного кодування в модулярному коді для покращення основних характеристик ЕОМ. Якщо застосування модулярного коду для підвищення користувальної продуктивності являється загально відомим фактом, то питання використання класа залишків для покращення надійнісних характеристик ЕОМ потребує додаткових досліджень один з цих аспектів був розглянутий у роботі. Результати досліджень показали, що СЗК при меншій додатково введеній кількості обладнання забезпечує не меншу надійність, чим потроєна або дубльована мажоритарна структура, що дуже важливо при побудові спеціалізованих ЕОМ, які функціонують в реальному масштабі часу.

Посилання

1. Акушский И.Я., Юдицкий Д.И. *Машинная арифметика в остаточных классах*. М.: Сов. Радио, 1968. - 440с.
2. Сиора А. А., Краснобаев В. А., Харченко В. С. *Отказоустойчивые системы с версионно-информационной избыточностью в АСУ ТП: Монография*. - Х.: МОН, НАУ им. Н.Е. Жуковского (ХАИ), 2009. 320с.
3. Жихарев В.Я., Илюшко Я.В., Кравец Л.Г., Краснобаев В.А. *Методы и средства обработки информации в непозиционной системе счисления в остаточных классах*. – Житомир: Изд-во “Волянь”, 2005. – 220с.
4. Скорняков Л.А. *Элементы алгебры*. – М.: Наука, 1986. – 240с.

Рецензент:

Волошко Сергій Володимирович, доцент кафедри, к.т.н., с.н.с.

Authors:

Yanko A.S., Svistun V.N.

RESEARCH OF METHODS OF INCREASING THE PRODUCTIVITY AND RELIABILITY OF SPECIALIZED COMPUTING DEVICES

Abstract. The article deals with theoretical information about the system of residual classes (SRC). The principles of information processing in the SRC are formulated. The study of the influence of

the main properties of SRC on the architecture and the principles of the functioning of a specialized computing device (SCD) was carried out. The structure of the SCD in the SRC has been developed and studied. The mathematical model of reliability of SCD in the SRC is developed. A comparative analysis of the reliability of SCD in the SRC was conducted.

Keywords: automated control system, electronic computing machine, system of residual classes, specialized computing device, positional numerical system.

Автори:

Янко А.С., Свистун В.Н.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Аннотация. В статье рассмотрены теоретические сведения о системе остаточных классов (СОК). Сформулированы принципы обработки информации в СОК. Проведено исследование влияния основных свойств СОК на архитектуру и принципы функционирования специализированного вычислительного устройства (СВУ). Разработана и исследована структура СВУ в СОК. Разработана математическая модель надежности СВУ в СОК. Проведен сравнительный анализ надежности СВУ в СОК.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, электронно-вычислительная машина, система остаточных классов, специализированное вычислительное устройство, позиционная система счисления.