

УДК 681.323

Круліковський Б. Б., к.т.н., доцент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне), **Возна Н. Я., к.т.н., доцент** (Тернопільський національний економічний університет), **Николайчук Я. М., д.т.н., професор** (Тернопільський національний економічний університет)

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ СТРУКТУРНОЇ СКЛАДНОСТІ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ КОМПОНЕНТІВ ПРОЦЕСОРІВ БАГАТОРОЗРЯДНОЇ АРИФМЕТИКИ

Викладені теоретичні засади та приклад оцінки структурної складності обчислювальних компонентів багаторозрядних процесорів.

Ключові слова: теорія структуризації, критерії, обчислювальні компоненти процесорів.

Вступ. Швидкий розвиток сучасних інформаційних технологій, комп'ютерних мереж та комп'ютеризованих систем викреслює дослідження проблеми структуризації в даній галузі як найперспективнішою задачею, оскільки практично всі напрямки розвитку сучасної цивілізації тісно пов'язані з інформатизацією суспільства та відповідною структуризацією інформаційних потоків.

Логічний аспект структури визначає загальні зв'язки між окремими елементами даних безвідносно до способу їх реєстрації та зберігання. До логічних структур (залежно від обраної структуризації) можна віднести поле, запис, файл; атрибут, групу, групове відношення, статтю, файл, базу даних і т. ін. У даному разі поняття «поле» і «атрибут» – найменші структурні одиниці, що не піддаються подальшому змістовому розчленуванню.

Фізичний аспект структури пов'язується зі способом реєстрації даних на носіїві чи способом запам'ятовування їх у пам'яті процесора. В умовах використання сучасних процесорів фізичними структурними одиницями є біт, байт, кілобайт, мегабайт, гігабайт; у документах – позиція, рядок, графа, таблиця; у схемотехніці – вентиль, логічний елемент, комбінаційна схема, операційний пристрій, ПЛМ, спецпроцесор, сигнальний процесор, суперпроцесор тощо.

У випадках, коли можна візуально сприймати інформацію на носіях, користуються таким поняттям мінімальної її структурної одиниці як реквізит (атрибут). Реквізити можуть характеризувати якісну чи кі-

лькісну сторону інформаційної сукупності.

За видом взаємозв'язку між окремими елементами структури бувають лінійні (однорівневі) та нелінійні (ієрархічні чи багаторівневі).

Лінійні структури можуть бути послідовні (з упорядкованими чи неупорядкованими елементами) та рядкові (з фізично розкиданими і логічно пов'язаними з допомогою ланок зв'язку елементами).

Нелінійні структури включають складні списки, дерева, мережі, таблиці і їх комбінації (гібридні).

Структури зі складними списками складаються з інших списків; деревоподібні передбачають ієрархічний зв'язок елементів; мережні мають довільний зв'язок між елементами, табличні структури мають вигляд 2Д, 3Д або МД-таблиць.

Аналіз останніх джерел. Дослідження структури обчислювальних компонентів процесорів та критерії оцінки їх структурної складності викладені в роботі [1] на основі теорії SH-моделі:

$$S = - \frac{\log_2 E}{n \cdot (n-1)},$$

де E – кількість елементів матриці суміжності системи; n – розмір матриці.

При цьому для розрахунку структурної складності обчислювальних компонентів процесорів на першому етапі складається матриця інцидентій, в якій диференційовано відображається число компонентів та їх кластерні групи.

Важливим класом оцінки структурної складності компонентів комп'ютерних систем та мереж є теорія емерджентності [2] ТДЦ, яка дозволяє оцінити структурну складність на основі відношення числа зв'язків до числа компонентів структури.

Розвитком теорії структур та оцінки їх складності є побудова "кольорових" мереж Петрі [3], де диференціюється поняття джерела даних, пункту опрацювання та архівації даних.

Дані теорії не в повній мірі дозволяють оцінити структурну складність даного класу об'єктів з більш глибоким врахуванням комунікаційних компонентів, їх форми, пересічень, алфавітно-цифрових та знакових символів.

Методикою досліджень є глибокий аналіз компонентів структур, їх формалізація та формування експертних оцінок коефіцієнта структурної інформативності. Таким чином, аналіз літературних джерел показує певну недосконалість відомих методів оцінки структурної складності та неефективність їх застосування для розрахунку складних мережевих архітектур та мікроелектронних компонентів багаторозрядних

процесорів.

Постановка завдання полягає у поглибленому математико-структурному дослідженні найпоширеніших методів оцінки структурної складності архітектур мереж та компонентів процесорів, а також у розробці критерію структурної інформативності та прикладів його застосування.

Метод оцінки структурної складності на основі критерію емерджентності архітектур комп'ютерних мереж. Теорія емерджентності дозволяє оцінити коефіцієнт емерджентності (структурної інтелектуальності) на основі відношення:

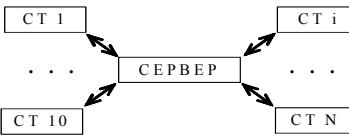
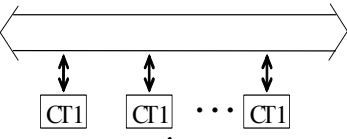
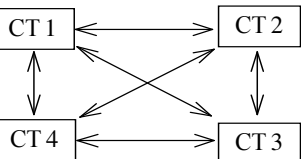
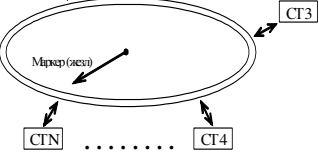
$$K_e = \frac{n_z}{n_e},$$

де n_z – число комунікаційних зв'язків, n_e – число компонентів (вузлів) мереженої структури

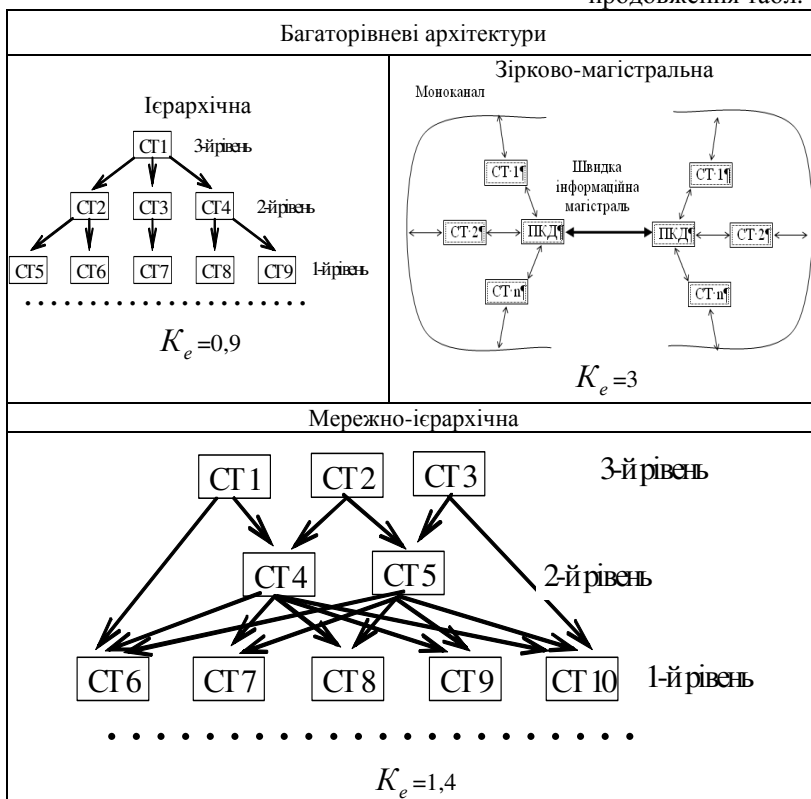
Приклади розрахунку оцінки структурної складності компонентів комп'ютерних мереж приведені в таблиці 1 [4].

Таблиця 1

Оцінка структури мережевих архітектур на основі критерію емерджентності

Тип та архітектура КС	
Однорівневі архітектури	
<p>Зіркова</p>  <p style="text-align: center;">$\hat{E}_a = 1,6$</p>	<p>Моноканал</p>  <p style="text-align: center;">$\hat{E}_a = 1,5$</p>
<p>Систолічна</p>  <p style="text-align: center;">$K_e = 3$</p>	<p>Кільцева</p>  <p style="text-align: center;">$K_e = 1,6$</p>

продовження табл. 1



Як видно з табл. 1 критерій оцінки емерджентності не враховує структурну організацію, символіки компонентів, тобто не є повноцінним і характеризується функціональними обмеженнями.

Метод оцінки структурної складності на основі мереж Петрі

Однією з найпоширеніших математичних конструкцій для представлення структур складних систем є мережі Петрі [5, 6]. За їх допомогою досить легко будувати моделі асинхронних, паралельних і розподілених систем.

Прості мережі Петрі містять лише три основних елементи: вузли, переходи, маркери. Тому побудова з їх допомогою структурних моделей складних комп'ютерних систем стає досить складною та громіздкою процедурою. Це помітно звужує клас моделей систем, які можна побудувати на основі простих мереж Петрі. У таких випадках застосо-

вують розширення простих мереж Петрі, які дають можливість значно спростити побудову складних моделей і їх графічне зображення. Зокрема кольорові мережі Петрі дають змогу значно зменшити розміри мереж, які використовуються для опису моделей обчислювальних систем [3].

Для формалізації структури таких систем застосовується теорія графів і мереж [4].

Приклад графа наведено на рисунку 1. Вершини графа позначено латинськими буквами a, b, c, d, e , дуги – грецькими буквами – $\alpha, \beta, \delta, \varphi, \varepsilon, \gamma, \zeta$.

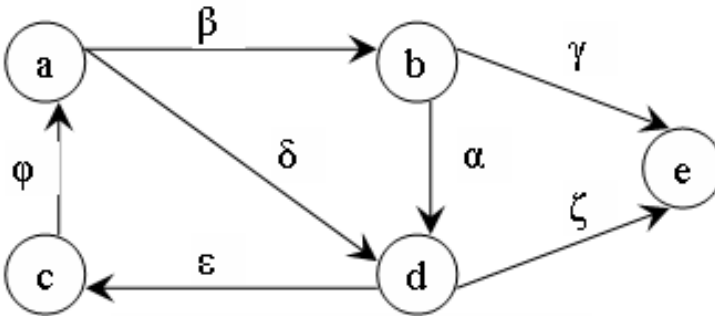


Рис. 1. Приклад графа

Довільний граф позначається буквою G , X – множина вершин, E – множина ребер, A – множина дуг.

Тоді конкретний граф, залежно від його орієнтації, прийнято записувати у вигляді:

$$G = (X, A) \text{ або } G = G(X, A), \\ G = (X, E) \text{ або } G = G(X, E).$$

В той же час велика складність процесів проектування та аналізу розподілених КС, а також абстрактність теорії мереж Петрі не дозволяють ефективно використати сучасні потужні комп'ютерні засоби через недостатній рівень формалізації структури компонентів КС, які з необхідною диференціацією векторно відображають характеристики взаємодії та руху інформаційних потоків у розподілених КС.

Недоліки класичних мереж Петрі частково усунені при розробці кольорових мереж Петрі на основі розширених понять атрибутів, які ідентифікують поняття джерела інформації, проміжного пункту цифрової обробки даних та приймача інформації (таблиця 2).

Таблиця 2

Атрибути кольорових мереж Петрі

Символи атрибутів ММРД	Зміст атрибутів ММРД
	інформаційний потік
	матеріальний потік
	джерело
	пункт обробки ІМП (інформаційно-матеріальний потік)
	залежний пункт затвердження
	незалежний пункт затвердження та архівації даних

Приклад побудови матричних моделей руху даних приведений на рисунку 2.

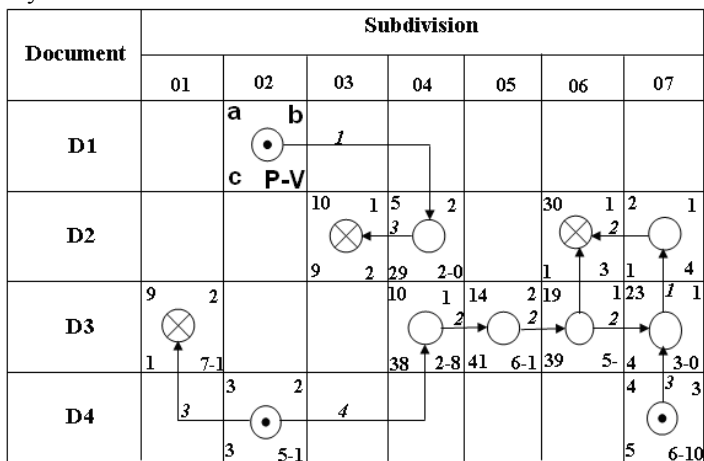


Рис. 2. Матрична модель руху даних комп'ютерних систем

Метод оцінки структурної складності на основі критерію структурної інформативності. Оцінка інформаційно-структурної складності, згідно [7] виконується на основі запропонованого аналітичного виразу:









$$k_e = K \cdot \sum_{j=1}^m f_j / \sum_{i=1}^n \alpha_i P_i \Rightarrow \max \quad (1)$$

де $P_i \in (l, P, x, d, r, h, z, b, c, i, n)$ – параметри графічних символів та структур (ГСС): K – ідентифікатор рівня ГСС; f_j – функціонально-інформаційна характеристика ГСС; α_i – вагові коефіцієнти експертних оцінок інформаційності компонентів атрибутів ГСС.

У таблиці 3 приведена систематизація символіки компонентів ГСС та експертні оцінки коефіцієнта їх складності α_i параметрів $l, P, x, d, r, h, z, b, c, i, n, a$.

Таблиця 3

Символіка компонентів ГСС

№ п/п	Тип позначення елемента	Зміст елемента	Символи	α_i
1	l	лінія		1
2	P	поворот		2
3	x	пересічення		3
4	d	дотик		2
5	r	розгалуження		2
6	h	штрихування		2
7	z	направлений зв'язок		2
				3
8	b	літера	Aa, Бб...	8
	c	цифра	1, 2, ... 0	4
	i	Індекс i	X_i	4
	n	знак	<, >, ,, ;, ,, +, ...	2

Методика розрахунку структурної інформативності. Проблема оцінки структурної складності алфавітно-цифрової, графічної інформації та схемотехнічних рішень мікроелектроніки, комп'ютерної техніки, алгоритмів обчислень та архітектури комп'ютерних систем потребує розробки класифікації компонентів графіки та експертної оцінки їх значимості для розрахунку структурної складності графічних образів, які представлені структурою та взаємозв'язком окремих компонентів. Важливим класом задач у межах названої проблеми є розробка методології, методів та критеріїв оцінки структурної інформативності компонентів процесорів багаторозрядної арифметики з врахуванням динаміки їх розрядності.

Загальна класифікація об'єктів структурної ідентифікації включає об'єкти енергетики, компоненти мікроелектроніки та комп'ютерної техніки, архітектури комп'ютерних систем та їх моделей, способи представлення алгоритмів, математичні фігури та функції. Розроблена класифікація дозволяє інтегрально оцінити структурну складність та інформаційну цінність будь-якого графічного документу, який включає алфавітно-цифрові дані та графічні схеми.

На основі критерію (1) та даних табл. 3 виконується оцінка структурної складності графічного способу представлення компонентів однорівневих моделей руху даних.

Таблиця 4

Розрахунок оцінки структурної складності графічного представлення активного вузла однорівневої ММРД

№ з/п	Структура компонента МРД	Параметри критерію структурної складності													
		l	P	x	d	r	h	z	b	c	i	n	k _c	e	
1		7	4	-	1	-	-	-	5	-	-	1	59	59	
2		7	4	-	2	-	-	-	5	-	-	1	61	61	
3		8	4	1	5	-	-	1	5	-	-	1	73	73	

На основі критерію (1) та даних табл. 3 виконується оцінка структурної складності мікроелектронних компонентів процесорів (таблиця 5) та кристалів логічних елементів (таблиця 6).

Таблиця 5

Інформативні характеристики логічних елементів комп'ютерної техніки

№ з/п	Назва функції, тип компонента ГСС	Умове графічне позначення	Параметри критерію структур. складності $l, P, x, d, r, h, z, b, c, i, n$	Сумарна оцінка структурної складності
1	Заперечення		6,3,-,3,-,-,-,-,-,-,-	24
2	Диз'юнкція		4,2,-,3,-,-,-,-,-,-,-	14
3	Заперечення диз'юнкції		6,2,-,4,-,-,-,-,-,-,-	18
4	Кон'юнкція		5,2,-,3,-,-,-,-,-,-,-	15
5	Заперечення кон'юнкції		6,2,-,4,-,-,-,-,-,-,-	18
6	Еквівалентність		6,2,-,3,-,-,-,-,-,-,-	16
7	Заперечення еквівалентності		7,2,-,4,-,-,-,-,-,-,-	19
8	Імплікація		7,2,-,6,-,-,-,-,-,-,-	23
9	Заборона		7,2,-,6,-,-,-,-,-,-,-	23

Таблиця 6

Символіка кристалів логічних елементів

№ з/п	Назва функції, тип компонента ГСС	Умове графічне позначення	Сумарна оцінка структур. складн.
1	Приклади значень коефіцієнта N_1	$N_1=3$ а) $N_1=1$ б) $N_1=8$ в) $N_1=2I-2I-3I-3ЧИ-HE$ г)	а) – 28 б) – 23 в) – 42 г) – 74
2	Мажоритарні елементи		а) – 177 б) – 232

Прикладом компонента процесорів багаторозрядної арифметики є модифікований регістр формування псевдовипадкової кодової послідовності з розмежованими зворотніми зв'язками (рисунок 3).

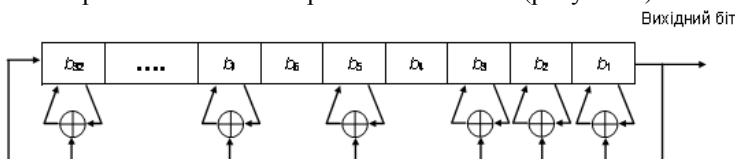


Рис. 3. Модифікований регістр зі зворотнім зв'язком

$$k_e = k_i/n + k_{e2} + k_{e3} = 96/n + 3 + 17,$$

n – число регулярних елементів. При $n = 1024$ $k_e \approx 21$

Можливість структуризації інформації і переходу від одних структур до інших (частіше від традиційних безмашинних до машинних і навпаки) забезпечує основу для ефективного аналізу, оцінювання та опрацювання інформації, її перегрупування.

Викладення концепції вирішення проблеми структуризації обчислювальних компонентів процесорів та даних дозволяє підійти до узагальнення фундаментальної теорії структуризації та піти шляхом систематизації наукових дисциплін, які є атрибутами та компонентами теорії та методології оцінки структурної складності обчислювальних компонентів процесорів різної розрядності. На рисунку 4 приведено приклад такої систематизації.

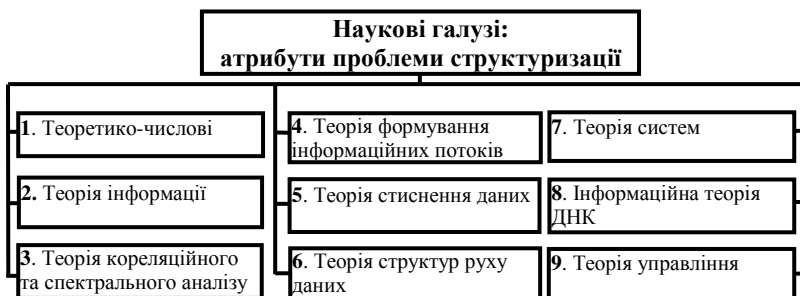


Рис. 4. Класифікація атрибутів теорії структуризації

На рисунку 5 показано узагальнені процеси структуризації інформаційних потоків джерел інформації, де ДІ – джерело інформації, S – сенсорна система, # – процеси дискретизації у Хеммінговому просторі, FS – функціонал структуризації, F(U,∩) – операції структурного

об'єднання та розмежування.

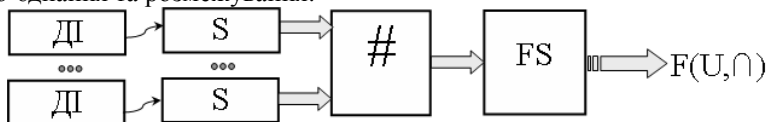


Рис. 5. Процеси структуризації

Висновки. Викладена концепція теорії структуризації потоків даних дозволяє чітко визначити її задачі в інформаційних системах, комп'ютерних та комп'ютеризованих мережах. Особливу увагу слід приділити детальному аналізу описаних атрибутів та компонентів теорії структуризації у розрізі наукових галузей. Оскільки сьогодні практично всі напрямки розвитку сучасної науки тісно пов'язані з інформаційними технологіями, то узагальнення теорії та методології структуризації інформаційних потоків є важливою науковою проблемою.

1. Черкаський М. В. Універсальна SH-модель / М. В. Черкаський, Х. Х. Мурад // Вісник Національного університету "Львівська політехніка" "Комп'ютерні системи та мережі". – 2004. – № 523. – С. 150-154.
2. Николайчук Я. М. Теорія джерел інформації / Я. М. Николайчук. – Тернопіль : ТНЕУ, 2008. – 536 с.
3. Пітух І. Принципи побудови комп'ютерних мереж з глибоким розпаралелюванням інформаційних потоків на основі матричних моделей руху даних / І. Пітух, Я. Николайчук, Н. Возна // Вісник Національного університету "Львівська політехніка" "Радіоелектроніка та телекомунікації". – 2004. – № 508. – С. 263-268.
4. Николайчук Я. М. Проектування спеціалізованих комп'ютерних систем. Навчальний посібник / Я. М. Николайчук, Н. Я. Возна, І. Р. Пітух. – Тернопіль : ТзОВ «Терно-граф», 2010. – 392 с.
5. Возна Н. Я. Теорія та методи побудови моделей руху даних у розподілених КС / Н. Я. Возна // Вісник національного університету "Львівська політехніка". Комп'ютерні системи та мережі. – 2010. – № 688. – С. 60-64.
6. Возна Н. Я. Теорія та оцінка інформативності структурованих графічних та відео зображень / Н. Я. Возна // Збірник матеріалів проблемно-наукової міжгалузевої конференції (ЮПІС-2011) – Івано-Франківськ, 2011. – С. 65-70.

Рецензент: д.е.н., професор Сазонець І. Л. (НУВГП)

Krulikovskyi B. B., Candidate of Engineering, Associate Professor (National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne), **Vozna N. Y., Candidate of Engineering, Associate Professor,** **Nikolaychuk Y. M., Doctor of Engineering, Professor Senior** (Ternopil National Economic University, Ternopil)

**THEORETICAL BASES AND CRITERIA ESTIMATION OF
STRUCTURAL COMPLEXITY COMPUTING COMPONENTS
PROCESSORS OF MULTI-BIT ARITHMETIC**

The article presents theoretical framework and example of assessing the structural complexity of multi-bit processors computing components.

Keywords: theory of structuring, criteria, processors computing components.

Круликовский Б. Б., к.т.н., доцент (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно), **Возна Н. Я., к.т.н., доцент** (Тернопольский национальный экономический университет), **Николайчук Я. М., д.т.н., проф.** (Тернопольский национальный экономический университет)

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ
СТРУКТУРНОЙ СЛОЖНОСТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ
КОМПОНЕНТОВ ПРОЦЕССОРОВ МНОГОРАЗЯДНОЙ
АРИФМЕТИКИ**

Изложены теоретические основы и пример оценки структурной сложности вычислительных компонентов многоразрядных процессоров.

Ключевые слова: теория структуризации, критерии, вычислительные компоненты процессоров.
