

УДК 681.32

Н. Я. ВОЗНА

СТРУКТУРИЗАЦІЯ ПОЛІФУНКЦІОНАЛЬНИХ ДАНИХ В УНІТАРНОМУ ТЕОРЕТИКО-ЧИСЛОВОМУ БАЗИСІ

*Тернопільський національний економічний університет,
46000, вул. Львівська 11, м. Тернопіль, Україна,
E-mail: nvozna@ukr.net*

Анотація. Викладені теоретичні основи структуризації даних у процесах формування, перетворення, цифрового опрацювання та представлення інформації на основі математичних засад унітарного теоретико-числового базису. Запропонований критерій та система атрибутів формалізації структуризованих даних у якості інструменту числових оцінок та побудови порівняльних характеристик різних способів подання інформаційних повідомлень в унітарному теоретико-числовому базисі.

Ключові слова: теоретико-числовий базис, унітарний базис, структуризовані дані, структуризація, структурна складність, поліфункціональні дані.

Аннотация. Изложены теоретические основы структуризации данных в процессах формирования, преобразования, цифровой обработки и представления информации на основе математических основ унитарного теоретико-числового базиса. Предложенный критерий и система атрибутов формализации структурированных данных в качестве инструмента числовых оценок и построения сравнительных характеристик различных способов представления информационных сообщений в унитарном теоретико-числовом базисе.

Ключевые слова: теоретико-числовой базис, унитарный базис, структурированные данные, структурирование, структурная сложность, полифункциональные данные.

Abstract. Theoretical basics of structuring data in the formation, transformation, processing and presentation of digital information based on mathematical principles unitary theoretical and numerical basis. The proposed criteria and system attributes formalization of structured data in a tool numerical estimates and build comparative characteristics of different methods of giving information messages in unitary theoretical and numerical basis.

Keywords: theoretical and numerical basis, unitary basis, structured data structuring, structural complexity, multifunctional data.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Швидкий розвиток сучасних інформаційних технологій, комп'ютерних мереж та комп'ютеризованих систем викреслює дослідження проблеми структуризації в даній галузі найперспективнішою задачею, оскільки практично всі напрямки розвитку сучасної цивілізації тісно пов'язані з інформатизацією суспільства та відповідною структуризацією інформаційних потоків [1].

Щоб краще зрозуміти роль інформації та ефективно використовувати її у процесі функціонування систем, необхідно формалізувати її структуризацію. Найвищим рівнем структуризації інформації є виділення її як системи для конкретного об'єкта і відповідних підсистем [2]. Проте, будь-яку систему можна піддати декомпозиції аж до виявлення неподільних одиниць.

Структуризація може виконуватися шляхом кодування структурних конгломератів даних у різних теоретико-числових базисах (ТЧБ): Унітарному, Хаара, Радемахера, Крестенсона, Уолша та Галуа [3]. Кодування даних в унітарному ТЧБ є найбільш історичним. Унітарний ТЧБ використовується при високопаралельному опрацюванні оптичних зображень та квантронних «КVP-перетворень» [4], цифровій голографії, томографії, при формуванні цифрових кодів у багатоканальних АЦП, в якості проміжних кодових систем при виконанні міжбазисних перетворень, в матричних суматорах та перемножувачах Хаара-Крестенсона та інш. Незважаючи на значну надлишковість представлення даних у цьому базисі, він має широке застосування в науці та техніці, у тому числі у розвитку теорії та методів структуризації даних.

АКТУАЛЬНІСТЬ

В умовах інформатизації суспільства і широкомасштабного впровадження комп'ютеризованих систем та телекомунікаційних мереж, а також швидкого зростання об'ємів інформації, що вимірюється, перетворюється, передається, опрацьовується, реєструється та використовується для управління, відповідно зростає необхідність обґрунтування та розробки диференційованої число-оцінювальної характеристики та критеріїв інформативності різних способів реалізації названих процесів руху поліфункціональних даних (ПФД).

Поняття ПФД охоплює широкий клас типів інформаційних повідомлень у середовищі фізичних, логічних та віртуальних даних. Наприклад: аналогові та цифрові дані (D) на виході сенсорів та аналого-цифрових перетворювачів, цифрові D на виході кодерів стиснення, шифрування та захисту інформації від помилок, вихідні D спецпроцесорів та контролерів цифрового опрацювання інформації, модульовані та маніпульовані сигнали систем передавання D, фізичні та логічні D баз даних та баз знань, алфавітно-цифрові D, графічна інформація 1D, 2D та 3D оптичних зображень.

Поняття структуризації даних в широкому аспекті охоплює теорію систем та взаємодію їх компонентів, теорію інформації та архітектури комп'ютеризованих систем та пов'язується з процесами розвитку та вдосконалення інформаційних систем.

Оскільки найбільший об'єм інформаційних потоків людина сприймає і опрацьовує зоровими рецепторами, то серед різних способів представлення даних є достатньо обґрунтованим вибір 1D, 2D та 3D графічних інформаційних фреймів.

1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ КОДУВАННЯ СТРУКТУРИЗОВАНИХ ДАНИХ (SD) В УНІТАРНОМУ ТЧБ

В якості вихідних у засобах перетворення форми інформації широкого застосування набули унітарні коди, розрядність бінарного подання слова яких відповідає повній шкалі квантування діапазону перетворення N . Здійснити перехід до ефективніших кодів із меншою розрядністю дозволяє аналітичне подання унітарних кодів і встановлення функціональних залежностей з іншими кодами чи системами кодування.

Для подання унітарних кодів використовуються унітарні функції [3]

$$Uni(m, \theta, i) = \text{sign}(\sin(2^m \pi(\theta + i \cdot 2^{-n}))),$$

де $m = 0, 1, \dots, n+1$ — порядок набору системи функцій; $n = \log_2 N$; N — модуль цілочислових дискретних значень системи; $\theta = t/T$; ($0 \leq \theta < 1$) — нормований параметр часу; $T = 2\pi$; t — потокове значення часу; $0 \leq t < 2\pi$; $i = 0, 1, \dots, 2^{n-m+1} - 1$ — порядковий номер функції в наборі порядку m .

Властивості унітарних функцій:

1. Система з перших N унітарних функцій порядку m є лінійно незалежною, оскільки виконується достатня умова лінійної незалежності: ранг матриці N функцій дорівнює кількості функцій N . Наступні N функцій є лінійними комбінаціями N перших.

2. Унітарні функції не ортогональні, оскільки $\int_0^1 Uni(m, \theta, i) Uni(k, \theta, j) d\theta \neq 0$.



Рис. 1. Унітарні функції нульового порядку

Неортогональність системи унітарних функцій зумовлює некомпактне пакування кодових елементів системи, що приводить до значної надлишковості інформаційних потоків. Внаслідок неортогональності та відсутності досліджень властивостей система не використовується як основа теоретико-числових перетворень (ТЧП).

Породжуючу кодову матрицю унітарного коду розмірності $N*N$ одержують при дискретизації з інтервалом $1/N$ за параметром часу перших $N = 2n$ із системи $2N$ унітарних функцій та здійсненні бінарної заміни значень функцій 1 на 0, -1 на 1 в точках $\theta_s = s/2^n$, $s = 0, 1, \dots, 2^n - 1$, яка реалізується за допомогою операції

$$u_i = (1 - \text{Uni}(0, \theta_s, 2^n - 1 - i)) / 2,$$

де $u_0, u_1, \dots, u_i, \dots, u_{2^n-1}$ — значення розрядів унітарного коду $\theta_s, i = 0, 1, \dots, 2^n - 1$.

Наведені властивості системи унітарних функцій дозволяють визначити процедури перетворення до інших базисів. В ролі первинних при перетворенні форми інформації та при переході від N -розрядних унітарних до кодів з меншою розрядністю також використовуються розрядно-позиційні коди.

В роботі [5] приведена система базисних функцій та кодових матриць унітарного базису. При цьому існує 4 модифікації систем базисних функцій унітарного ТЧБ, які показані в табл. 1. Такі 4 класи функцій утворюються за рахунок існування 4-х класів унітарних кодів: прямого, інверсного, інвертованого та інверсно-інвертованого.

Таблиця 1.

Системи базисних функцій унітарного ТЧБ

Ортогональні функції унітарного базису	Кодова матриця унітарного базису
	$M_{Uni} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{vmatrix}$
	$M_{Uni} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{vmatrix}$
	$M_{Uni} = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$
	$M_{Uni} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$

Базисні функції унітарного ТЧБ породжують унітарні коди (U -коди) (рис. 2а). Над U -кодами виконуються логіко-арифметичні операції визначення меншого з двох Z_i , модульної різниці $|x_i - y_i|$, які виконуються на основі логічної операції I та виключаюче АБО (рис. 2б).

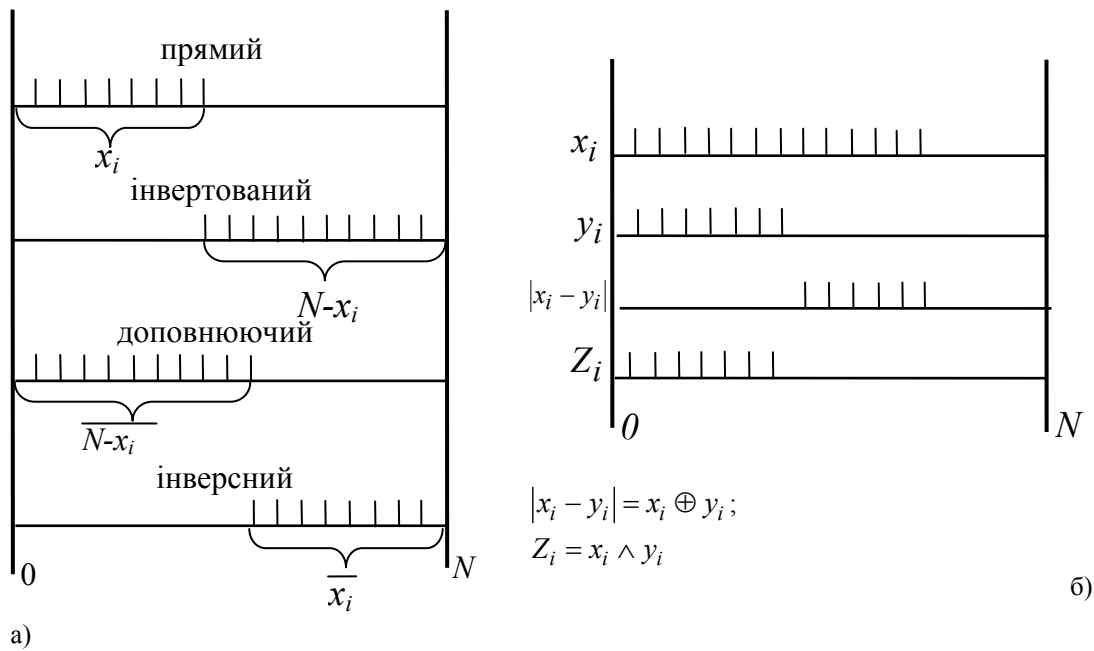


Рис. 2. Типи U-кодів та арифметико-логічні операції над ними

2. МЕТОДИ ОЦІНКИ СТРУКТУРНОЇ СКЛАДНОСТІ ПОЛІФУНКЦІОНАЛЬНИХ ДАНИХ

Відомий метод оцінки структурної складності схем комп'ютерної мікроелектроніки на основі ентропійного підходу, запропонований професором М. В.Черкаським [6]. Суть цього методу полягає у тому, що на основі досліджуваної структури будується матриця суміжності (рис. 3) і обчислюється коефіцієнт структурної складності згідно виразу:

$$S = -E_n \log_2 \frac{E_i}{E_n} (n - 1),$$

де $E_n = n \cdot m$ — загальне число елементів матриці $n \times m$ — розмір матриці, E_i — число елементів досліджуваної структури.

Тип SD	k_1	k_2	k_n
M_1	n_{11}	n_{12}	n_{1n}
M_2	n_{21}	n_{22}	n_{2n}
.....
M_n	n_{n1}	n_{n2}	n_{nn}

Рис. 3. Матриця суміжності оцінки структурної складності на основі ентропійного підходу

Слід зауважити, що даний метод характеризується наступними функціональними обмеженнями:

— метод проблемно орієнтований до схем мікроелектроніки і класифікація елементів структури виконується по функціональній ознаці;

— метод не враховує складність графічного подання компонентів структури та диференціальної оцінки рівня структуризованих ПФД, що унеможливило числову оцінку структурної складності графічного представлення схеми, наприклад число пересічень інформаційних каналів, форма позначень елементів структури, число входу/виходів та ін.;

— метод не створює математичної основи спрощення чи оптимізації інформаційного рівня подання досліджуваної чи аналізованої структури.

Вирішення задачі оцінки структурної складності поліфункціональних даних на основі вагових коефіцієнтів оцінок інформативності викладено у роботах [7—8], де проблема оцінки коефіцієнта структуризованості відображуваних ПФД вирішена наступним чином. Визначено коефіцієнт складності компонентів атрибутів ПФД — α_i та присвоєно вагові коефіцієнти оцінок інформативності їх параметрів P_i (табл. 2):

Таблиця 2.

Вагові коефіцієнти оцінок інформативності

№ п/п	Тип позначення елемента	Зміст елемента	Символи	α_i		
1	<i>l</i>	Лінія		1		
				1,5		
				1,1		
				1,1		
				1,2		
				1,2		
				1,7		
2	<i>P</i>	Поворот		2		
				2,2		
				2,2		
3	<i>x</i>	Пересічення		3		
				3,1		
4	<i>d</i>	Дотик		2		
				2,2		
5	<i>r</i>	Розгалуження		4		
				4,2		
				6,2		
6	<i>h</i>	Спосіб заливки		2		
7	<i>z</i>	Направлений зв'язок		2		
				3		
				2,4		
				2,5		
				3,4		
				3,5		
8	<i>b</i>	Літера	<p><i>Aa...Яя, ..., Aa...Яя,</i> <i>Aa...Яя, ..., Aa...Яя,</i> <i>Aa...Яя, ..., Aa...Яя,</i> <i>Aa...Яя, ..., Aa...Яя</i></p> <p>.....</p> <p><i>Aa...Zz, ..., Aa...Zz</i> <i>Aa...Zz, ..., Aa...Zz</i> <i>Aa...Zz, ..., Aa...Zz</i> <i>Aa...Zz, ..., Aa...Zz</i></p>	8—10		
			<i>c</i>	Цифра	<i>1, 2, ..., 0...1, 2, ..., 0</i>	4
			<i>i</i>	Індекс	<i>1, 2, ..., 0, a, A, , 1, 2, ..., 0, a, A</i>	4
			<i>s</i>	Символ	©, ®, π, ψ, ω, &, %, @, §, Θ, №, Σ, ∫, ∞, ©, ☀, ♪, ...	4
			<i>n</i>	Знак	+ , - , < , > , = , ≠ , ≈ , ≅ , ≤ , ≥ , (, “ , { , ! , ? , ; , ; , ...	2

Враховуючи вказані показники, отримуємо коефіцієнт структурної складності $k_c = \sum_{i=1}^n \alpha_i P_i$.

Враховуючи також функціонально-інформативну характеристику ПФД f_i та їх суму $\sum_{j=1}^m f_j$

отримаємо кількісну оцінку структурної складності представлення елементів складної системи у вигляді відношення:

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

K — ідентифікатор рівня ПФД ($K = n, \dots$ — відповідно для n -рівневих зображень).

При цьому рівень структуризації ПФД підвищується при максимізації відношення (1).

Таким чином на основі розробленої концепції та принципів оцінки коефіцієнта структурної складності доцільно розробити узагальнені теоретичні основи декомпозиції форм структуризації ПФД та оцінки їх інформативності, наприклад для людини-оператора або комп'ютеризованої системи розпізнавання образів та прийняття рішень.

ВИРІШЕННЯ ЗАВДАННЯ

Як показано у роботах [7—9] математичні основи методів структуризації поліфункціональних даних (СПФД) охоплюють широкий клас проблем фундаментальної теорії організації руху даних, основа яких для багатьох прикладних задач перетворення інформації визначається відповідним теоретико-числовим базисом (ТЧБ) ортогональних функцій. У працях [3, 10] досліджені кодові системи найбільш широко застосовуваних ТЧБ в інформаційних технологіях, у тому числі: U — унітарний, F — Фур'є, H — Хаара, W — Уолша, C — Крестенсона, R — Радемахера, G — Галуа. Слід зауважити, що унітарний ТЧБ є одним з перших, який винайшло людство і широко застосовується як математична основа унітарної системи числення та унітарних кодових систем у якості проміжних допоміжних представлень даних при міжбазисних перетвореннях. Тому задачу узагальнення теорії структуризації ПФД доцільно розглянути на основі унітарного ТЧБ.

3. АТРИБУТИ ТА КВАНТИ СТРУКТУРИЗАЦІЇ ПФД В УНІТАРНОМУ ТЧБ

В якості найменшого неділимого кванта структури графічно поданої відео інформації приймемо крапку чорного кольору або її зворотного білого зображення на чорному фоні (рис. 4).

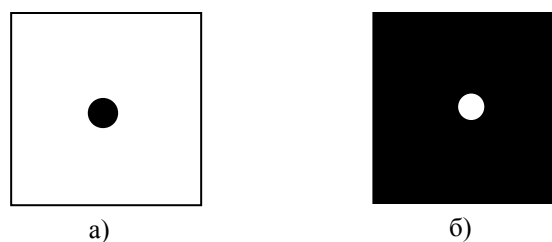


Рис. 4. Елементарна одиниця (квант) структури ПФД

Присвоїмо даній одиниці елементарного кванту структури ПФД класу відео-даних числове значення $S0 = 2^{\pm k}$ — у двійковій системі числення або $S0 = 10^{\pm m}$ — у широкोजиваній десятковій системі числення.

Таким чином у залежності від вибраного заданого числового діапазону оцінки структурної складності поліфункціонального зображення (ПФЗ) маємо: $S0 = 1$ при $k = 0$, $m = 0$.

У залежності від зображення крапки на відповідному фоні отримуємо структурну складність (SS) відповідно для:

а) білий фон - $S0 = 0.0$, де $Sx = 0$; (1)

б) чорний фон - $S1 = 1.1$, де $Sx = 1$.

Таким чином згідно рис.4 біла крапка на чорному фоні — $S0_{.1} = (\bar{b})$; чорна крапка на білому фоні — $S1_{.0} = (a)$. При цьому вважаємо, що діаметр графічного прямого та інвертованого символу відповідає $d = 1$, тобто одному пікселю двовірної матриці дворівневого Хеммінгового простору.

Отже, оцінки SS таких зображень, без прив'язки до координат, не перевищує двох біт.

При $K \neq 0$ квант SD може бути табульований в областях $Sx < 1$ або $Sx > 1$.

Наприклад: при $K = 0.5; 0.25; 0.125; \dots$ така одиниця SD набуде відповідних значень $0.1; 0.01; 0.001; \dots$, при $K = 2; 4; 8; \dots$ — $10; 100; 1000; \dots$

Визначена одиниця кванту SS доцільна до застосування у сучасних комп'ютеризованих інформаційних системах. Відомий аналітичний зв'язок між двійковою і десятковою системами числення дає можливість відповідного представлення двійкових даних через десяткові числа.

Можливе практичне задання кванта SS при $K \neq 0$ у вигляді десяткових чисел відповідно:

$$Sx < 1 \quad 0.1; 0.01; 0.001; \dots$$

$$Sx > 1 \quad 10; 100; 1000; \dots$$

У той же час при необхідності оцінки SS напівтонових чорнобілих зображень оцінка кванта SD повинно відповідати визначенню (1).

Наприклад зображення $S1_{0,10101}$ і $S0_{0,10101}$ показані на рис. 5, де сірий фон має бітову оцінку ступеня чорного чи білого 0.10101 у порівнянні з нулем та одиницею.



Рис. 5. Оцінка SD кванту S_0 на фоні півтонових фонів (а, б — сірий фон)

Оцінка SS чорної чи білої крапки на певному фоні дозволяє ввести числовий розрахунок SD для на півтонових структур відео даних.

Наприклад подання квантів SS на фоні деяких "сірих" фонів та застосування унітарного ТЧБ (U-ТЧБ) маємо: (рис. 6).



Рис. 6. Одиниця SS на сірому фоні

Оцінка SS для розглянутого рисунку в U-ТЧБ наступна: $S1_{0011}$; $S0_{0011}$ при п'ятирівневному квантуванні сірого фону та $S1_{\overbrace{0000\dots111111}^n}$; $S0_{\overbrace{0000\dots111111}^n}$ при n -рівневному квантуванні сірого фону.

У сучасних відео системах таку одиницю називають пікселем. Упустивши розгляд кванту $S0_x$, який є інвертованим зображенням кванту SS $S1_x$, де x — код фону та прийнявши фон як $x = 0$ виконаємо систематизацію наступних елементарних структур SD.

Почнемо з поняття структури прямої лінійної послідовності рівномірно або довільно віддалених квантів SS (рис. 7).

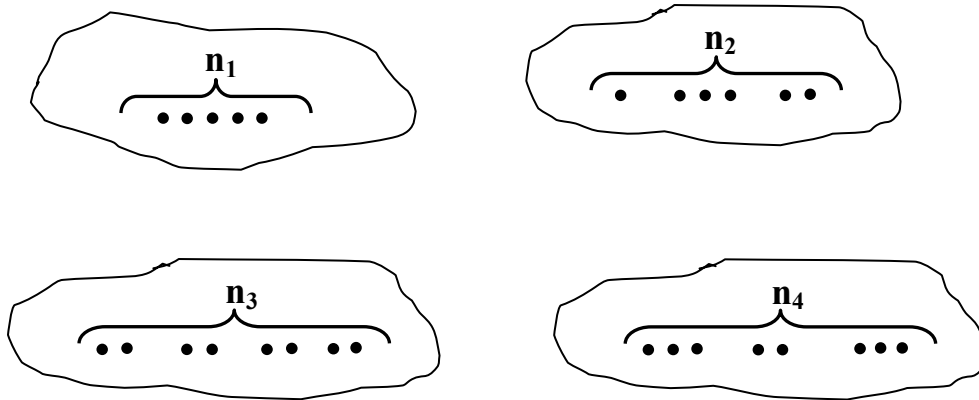


Рис. 7. Елементи SD побудовані з n-квантів $S1_0$ в U-ТЧБ

З рис. 5 видно, що незалежно від структури послідовності $S1_0$ в U-ТЧБ головним параметром числової оцінки SS є число $(n) S1_0$.

Наступним атрибутом SD введемо напрям вектору лінійної послідовності $S1_0$ у декартових координатах (рис. 8).

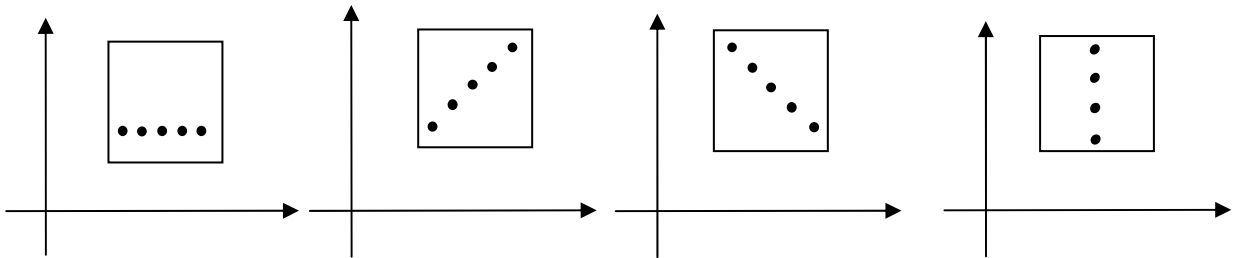


Рис. 8. Елемент SD згідно вектора напрямку $n, S1_0, \alpha$. $\alpha \in 0 \div 360^\circ$

Наступний елемент SD просторовий (рис. 9).

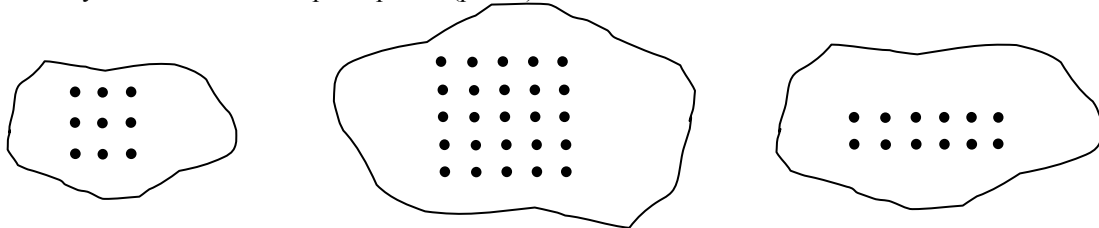
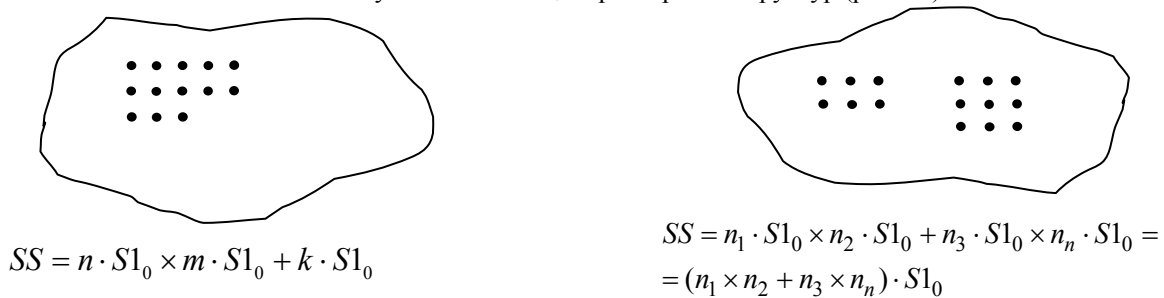


Рис. 9. Просторовий елемент SD $n \cdot S1_0 \times m \cdot S1_0$

Розвиток такого елемента SD є комбінація просторових структур (рис. 10).



$$SS = n \cdot S1_0 \times m \cdot S1_0 + k \cdot S1_0$$

$$SS = n_1 \cdot S1_0 \times n_2 \cdot S1_0 + n_3 \cdot S1_0 \times n_n \cdot S1_0 = (n_1 \times n_2 + n_3 \times n_n) \cdot S1_0$$

Рис. 10. Комбінації просторових елементів SD

Сукупність квантів SD лінійно поданих без розривів є елемент — лінія (рис. 11) довжиною L.

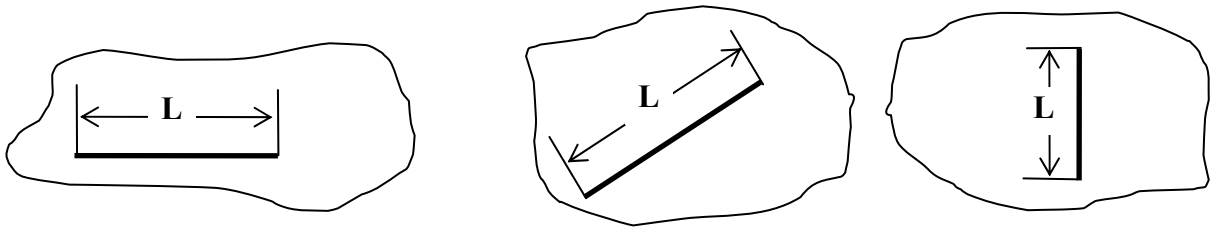


Рис. 11. Елемент SD — лінія $S1_0 - L, \alpha$.

Пересічення ліній розраховуємо як структурне адитивно-мультиплікативне об'єднання SS (рис. 12).

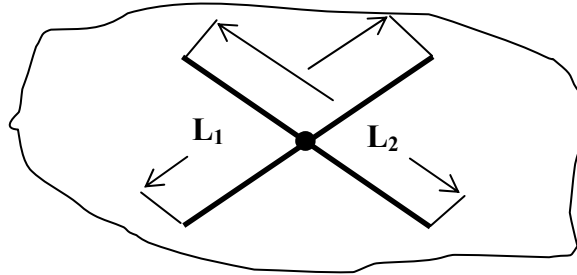


Рис. 12. Структурне об'єднання елементів SD

Дане структурне об'єднання SD описується логічним рівнянням типу:

$$SS = L_1 \wedge L_2 \wedge S1_0.$$

Прикладом такої структури ПФД є формування алфавітно-цифрового символу у синтезованій малогабаритній клавіатурі (рис. 13) [11].

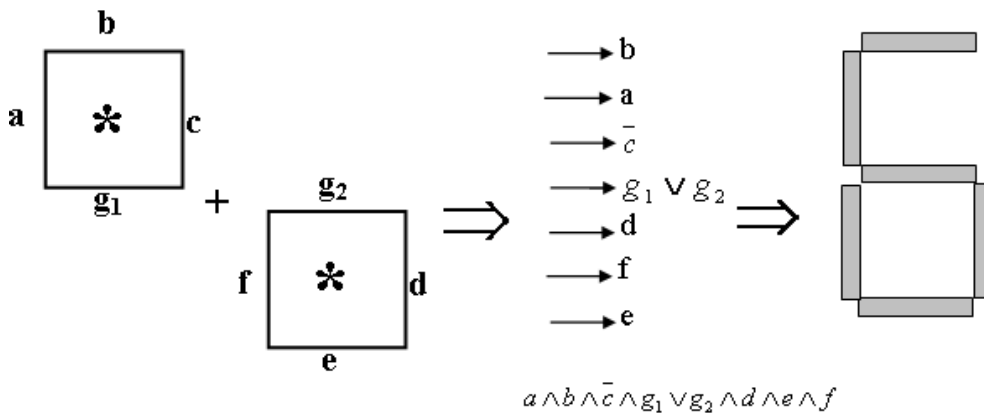


Рис. 13. Приклад синтезованого формування стилізованого символу букви "Б" двома

послідовними натисканнями клавіш та

ВИСНОВКИ

Викладені систематизовані елементи структуризованих графічних даних в унітарному ТЧБ дозволяють формалізувати багато явищ описів ПФД як SD. У той же час унітарність числових величин приводить до певних функціональних обмежень застосування U-базису в інформаційних системах та низьку ентропію такого класу, що потребує формалізованого застосування SD у інших ТЧБ, у тому числі Радемахера, Крестенсона та Галуа. Оскільки в U-ТЧБ не фіксується структурна організація SS, а тільки їх число. Існує багато задач теорії ймовірностей, ентропійного аналізу, де U-ТЧБ може ефективно застосовуватись у прикладних інформаційних задачах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сергієнко І. В. Інформатика в Україні: становлення, розвиток, проблеми. — К. : Наук. думка, 1999. — 354 с.
2. Ахо, А. Структуры данных и алгоритмы. Пер. с англ. Учебное пособие / Альфред В. А. Ахо, Джон Э. Хопкрофт, Джеффри Д. Ульман. — М. : Вильямс, 2000. — 384 с.
3. Николайчук Я. М. Коды поля Галуа / Я. М. Николайчук // ТзОВ «Тернограф», — Тернопіль, — 2012. — 576 с.
4. Кожем'яко В. П. Квазиимпульсно-потенциальные оптоэлектронные элементы и устройства логико-временного типа / С. В.Свечников, В. П.Кожемяко, Л. И.Тимченко. — Киев : Наукова думка, 1987. — 256 с.
5. Николайчук Я. М., Возна Н. Я., Пітух І. Р. Проектування спеціалізованих комп'ютерних систем / Навчальний посібник / — Тернопіль : ТзОВ «Терно-граф». 2010. — 392 с., іл.
6. Черкаський М. В. Складність пристрою керування / М. В. Черкаський, Х. Х. Мурад // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» «Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології». — 2004. — № 521. — С. 3—7.
7. Возна Н. Я. Концепція структуризації даних в розподілених інформаційних системах Збірник матеріалів міжнародної координаційної наради ISCM-2014. — Тернопіль, 2014. — С. 55—57.
8. Возна Н. Я., Николайчук Я. М. Основи теорії, функції та задачі структуризації даних в інформаційних системах. Праці міжнародної наукової конференції «Питання оптимізації обчислень (ПОО-XL)» Київ: Інститут кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України, 2013. — С. 56—57
9. Vozna N. Ya. Conception and Theoretical Bases for Solving the Problem of Data Structuring in Information Computerized Systems / N. Ya. Vozna , Ya. M. Nycolaychuk , N. I. Alishov // Journal of Qafqaz University. Mathematics and Computer Science. — Baku. Azerbaijan, 2013. — Volume 1, № 2. — P. 112—117.
10. Николайчук Я. М. Теорія джерел інформації / Николайчук Я. М. — Тернопіль : ТНЕУ, 2008. — 536 с.
- 11 Пат.107904 Україна МПК G06F 3/023 (2006.01) Пристрій для введення алфавітно-цифрових даних / Николайчук Я. М., Мельник А. О., Возна Н. Я., Мельник В. А. №a201404203; заявл.18.04.2014; опубл.25.02.2015, Бюл. № 4/2015.

Надійшла до редакції 21.05.2015 р.

ВОЗНА НАТАЛІЯ ЯРОСЛАВІВНА — к. т. н., доцент, доцент кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем, Тернопільського національного економічного університету, м.Тернопіль, Україна.