УДК 681.3:519.15

В.В. Різник
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра автоматизованих систем управління;
Природничо-технологічний університет (м. Бидгощ, Польща)

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ВЕКТОРНИХ МОНОЛІТНИХ КОДАХ

Розглядається новий різновид позиційних завадостійких кодів - монолітних, перевагою яких є простота виявлення помилок, завдяки гуртуванню однойменних символів у вигляді монолітних блоків, сформованих за принципом “оптимальних структурних пропорцій” (ОСП). Досліджується теоретичний зв'язок монолітних кодів з комбінаторними структурами та розкриваються перспективи розвитку векторних інформаційних технологій.

Ключові слова: монолітний код, комбінаторна структура, оптимальна структурна пропорція, векторні інформаційні технології.

A new class of the positional noise immunity codes – monolithic, which advantage is detecting simplicity due to grouping the same symbols as the monolithic blocks formed by “Optimum Structural Proportions” (OSP) principle is regarded. Theoretical connection of the monolithic codes with combinatorial structures is researched, and perspective for vector information technologies is developed.

Keywords: monolithic code, combinatorial structure, Optimum Structural Proportion, vector information technologies.

Вступ

Сьогодні опрацьовано десятки кодів, які теоретично можуть виявляти довільну кількість помилок [1]. Серед великої різноманітності таких кодів найпоширеніші двійкові коди, які, на відміну від кодів з довільною (більшою від двох) кількістю якісних ознак, є значно зручнішими як для пересилання сигналів, так і з погляду проектування пристроїв дискретної техніки, оскільки в них дуже легко і технічно просто розв’язується задача фіксації одного з двох стійких станів логічних елементів. Разом з тим, виникає проблема доцільності того чи іншого розміщення вагових розрядів у кодових комбінаціях, де фіксація певних вагових розрядів на певних позиціях кодової послідовності відкриває нові дуже корисні, але, на жаль, ще малодосліджені можливості практичного використання цих властивостей. Такого класу задачі, як правило, мають комбінаторний характер і часто зводяться до пошуку оптимальних розв’язків. Тому одним із перспективних напрямів продовження досліджень у галузі інформаційних технологій є проблема знаходження оптимального розподілу вагових розрядів позиційного коду за критерієм кодування чисел натурального ряду фіксованою кількістю способів. Зокрема, актуальним питанням можна вважати дослідження геометричних властивостей простору-часу, в якому здійснюється кодування, пересилання та перетворення інформації. Природним напрямом цих досліджень є вивчення та використання об’єктивних законів реального простору-часу для розвитку новітніх інформаційних технологій майбутнього, зокрема проектування високоефективних багатовимірних (векторних) комп’ютерних систем.

Числова модель системи кодування з кільцевою структурою

Розглянемо модель деякої системи як впорядковану множину цілих додатних чисел (k_1, k_2, $\ldots k_n$), розміщених у вигляді замкнутої (кільцевої) послідовності. Нехай K_n = (k_1, k_2, $\ldots k_n$) – це система послідовно впорядкованих кодових розрядів з кільцевою структурою, так що кожен із розрядів завжди розміщений поряд з двома іншими розрядами. Так, наприклад, розряд k_1 – поряд з розрядами k_2 і k_n . Легко обчислити, що число S_{n-1} усіх можливих послідовно впорядкованих наборів, складених із будь-якої кількості (від 1 до n-1), визначається за формулою:

$$S_{n-1} = n(n - 1). \qquad (1)$$

Крім того, треба врахувати ще одну суму усіх вагових розрядів, що не залежить від вибору місця початку їх відліку. Отже, максимальне число S_n кільцевих сум в’язанки є таким:

$$S_n = n(n-1) +1. \qquad (2)$$

Поставимо вимогу, щоб множина всіх кільцевих вичерпувала множину натуральних чисел від 1 до $S_n = n(n-1)$ фіксовану кількість R разів. Тоді формула (2) набуває загальнішого вигляду:

$$S_n = n(n-1)/ R +1. \qquad (3)$$

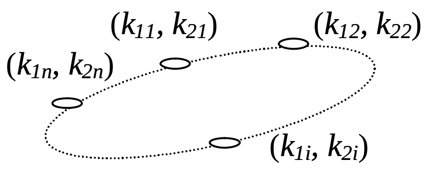
З вищевикладеного випливає, що за наявності згаданих обмежень на топологічну структуру та способу кодування система кодування з формуванням кодових комбінацій за кільцевою структурою досягає вдвічі більшої потужності коду порівняно з можливостями систем з розімкненою структурою, для яких, як відомо, кількість можливих способів формування кодових комбінацій за фіксованої кількості розрядів є вдвічі меншою.

Постановка задачі

Поставимо такі вимоги до системи формування кодових комбінацій: 1) усі дозволені кодові комбінації повинні складатися не більше ніж із двох груп з однойменними символами у кожній групі; 2) схема розподілу ваг розрядів повинна забезпечити можливість формування кодових комбінацій, числові значення яких вичерпують натуральний ряд; 3) всі комбінації коду із заданою здатністю щодо виправлення помилок повинні мати однакову довжину. Код, який задовольняв би вищезгадані вимоги, набуває корисних властивостей: 1) взаємно однозначна відповідність між множиною чисел натурального ряду і кількістю способів формування дозволених кодових комбінацій; 2) велика швидкість формування кодових комбінацій; 3) висока завадостійкість; 4) простота і зручність керування інформаційними потоками; 5) висока швидкість виправлення помилок; 6) високий рівень захищеності від несанкціонованого доступу; 7) можливість створення високоефективних багатовекторних систем кодування та перетворення інформації. Звідси випливає ідея створення новітніх інформаційних технологій на основі використання принципу “досконалого розподілу вагових пропорцій”.

Розглянемо детальніше формування кодових комбінацій за принципом “оптимальних структурних пропорцій” (ОСП) та встановимо теоретичний зв'язок таких кодів з комбінаторними структурами [2] на прикладі побудови двовимірних систем кодування.

Нехай елементами такої системи буде послідовність упорядкованих числових 2-кортежів ((k_{11}, k_{21}), (k_{12}, k_{22}), ... , (k_{1i}, k_{2i}), ... , (k_{1n}, k_{2n})), останній з яких поряд з першим. Йдеться про створення системи двовимірного кодування, графічно-числова модель якої набуває вигляду замкненої петлі (див. рисунок). На цьому рисунку можна побачити систему формування кодових 2-кортежів n-го порядку з кільцевою структурою, де n – кількість 2-кортежів.



Графічно-числова модель системи двовимірного кодування n-го порядку

Поставимо задачу вибору цілочислових значень n – послідовності впорядкованих 2-кортежів (k_{1i}, k_{2i}) з урахуванням таких вимог:

1) усі 2-кортежі не повинні повторюватися;
2) усі 2-модульні вектор-суми поруч розміщених 2-кортежів не повинні повторюватися;
3) множина усіх вибраних 2-кортежів разом з усіма 2-модульними вектор-сумами поруч розміщених 2-векторів повинні заповнити координати двовимірної матриці.

З вимог 1 і 2 випливає система нерівностей:

$(k_{11}, k_{21}) \neq (k_{12}, k_{22}) \neq ... \neq (k_{1i}, k_{2i}) \neq ... \neq (k_{1n}, k_{2n}) \neq (k_{11}, k_{21}) + (k_{12}, k_{22}) \neq \ldots \neq (k_{1n}, k_{2n}) + (k_{11}, k_{21}) \neq \ldots \neq (k_{11}, k_{21}) + (k_{12}, k_{22}) + ... + (k_{1i}, k_{2i}) + ... + (k_{1n}, k_{2n})$.

Під 2-модульною вектор-сумою розуміємо результат арифметичного додавання чисел, вибраних від кожного з n 2-кортежів, числа яких мають однойменні порядкові номери, причому додавання здійснюють за відповідними модулями.

Для дотримання вимоги 3 треба скористатися залежностями (1)–(3), які дають змогу обчислити значення модулів і, отже, розміри двовимірної матриці. Наприклад, для $n = 4$ з рівняння (1) випливає, що модулями M_1 і M_2 можуть бути числа 3 і 4.

Нехай $(k_{11}, k_{21}) = (1,1)$, $(k_{12}, k_{22}) = (1,2)$, $(k_{13}, k_{23}) = (1,4)$, $(k_{14}, k_{24}) = (1,3)$. Тоді числова модель системи двовимірного кодування 4-го порядку (n=4) має такий вигляд:

((1,1),(1,2),(1,4),(1,3)).

Знайдемо всі 2-модульні вектор-суми на цій кільцевій послідовності :

$(k_{11}, k_{21})+(k_{12}, k_{22})=((k_{11}+k_{12}),(k_{21}+k_{22}))= ((1+1), (1+2)) = (2,3)$;
$(k_{12}, k_{22})+(k_{13}, k_{23})=((k_{12}+k_{13}),(k_{22}+k_{23}))= ((1+1), (2+4)) = (2,6)$;
$(k_{13}, k_{23})+(k_{14}, k_{24}) = ((k_{13} + k_{14}), (k_{23} + k_{24})) = ((1+1),(4+3)) = (2,7)$;
$(k_{14}, k_{24}) + (k_{11}, k_{21}) = ((k_{14} + k_{11}), (k_{24} + k_{21})) = ((1+1), (3+1)) = (2,4)$;
$(k_{11}, k_{21})+(k_{12}, k_{22})+(k_{13}, k_{23}) = ((k_{11}+k_{12}+k_{14}), (k_{21} + k_{22} + k_{23})) = ((1+1+1), (1+2+4)) = (3,7)$;
$(k_{12}, k_{22})+(k_{13}, k_{23})+(k_{14}, k_{24}) = ((k_{12} + k_{13} + k_{14}), (k_{22} + k_{23} + k_{24})) = ((1+1+1), (2+4+3)) = (3,9)$;
$(k_{13}, k_{23}) + (k_{14}, k_{24}) + (k_{11}, k_{21}) = ((k_{13} + k_{14} + k_{11}), (k_{23} + k_{24} + k_{21})) = ((1+1+1), (4+3+1)) = (3,8)$;
$(k_{14}, k_{24}) + (k_{11}, k_{21}) + (k_{12}, k_{22}) = ((k_{14} + k_{11} + k_{12}), (k_{24} + k_{21} + k_{22})) = ((1+1+1), (3+1+2)) = (3,6)$;
$(k_{11}, k_{21}) + (k_{12}, k_{22}) + (k_{13}, k_{23}) + (k_{14}, k_{24}) = ((1 +1+1+1), (1+2+4+3)) = (4,10)$.

Якщо ж в обчисленнях врахувати значення модулів M_1 =3, M_2= 4, тоді отримаємо такий результат:

$(k_{11}, k_{21}) + (k_{12}, k_{22}) = ((k_{11} + k_{12}), (k_{21} + k_{22})) = (2,3)$;
$(k_{12}, k_{22}) + (k_{13}, k_{23}) = ((k_{12} + k_{13}), (k_{22} + k_{23})) = (2,1)$;
$(k_{13}, k_{23}) + (k_{14}, k_{24}) = ((k_{13} + k_{14}), (k_{23} + k_{24})) = (2,2)$;
$(k_{14}, k_{24}) + (k_{11}, k_{21}) = ((k_{14} + k_{11}), (k_{24} + k_{21})) = (2,4)$;
$(k_{11}, k_{21}) + (k_{12}, k_{22}) + (k_{13}, k_{23}) = ((k_{11} + k_{12} + k_{14}), (k_{21} + k_{22} + k_{23})) = (3,2)$;
$(k_{12}, k_{22}) + (k_{13}, k_{23}) + (k_{14}, k_{24}) = ((k_{12} + k_{13} + k_{14}), (k_{22} + k_{23} + k_{24})) = (3,4)$;
$(k_{13}, k_{23}) + (k_{14}, k_{24}) + (k_{11}, k_{21}) = ((k_{13} + k_{14} + k_{11}), (k_{23} + k_{24} + k_{21})) = (3,3)$;
$(k_{14}, k_{24}) + (k_{11}, k_{21}) + (k_{12}, k_{22}) = ((k_{14} + k_{11} + k_{12}), (k_{24} + k_{21} + k_{22})) = (3,1)$;
$(k_{11}, k_{21}) + (k_{12}, k_{22}) + (k_{13}, k_{23}) + (k_{14}, k_{24}) = (0, 0)$.

Результати обчислень показують, що кільцева послідовність ((1,1),(1,2),(1,4),(1,3)) утворює матрицю з розмірами 3 × 4, яка містить усі кільцеві вектор-суми, числові значення яких заповнюють її координати.

Монолітний код на двовимірних оптимальних структурних пропорціях

Наступний приклад стосується застосування двовимірних оптимальних структурних пропорцій для кодування векторів. Під двовимірною "оптимальною структурною пропорцією" (2-ОСП) розуміємо циклічну послідовність двомісних цілочислових кортежів, усі суміжні суми яких, узятих за відповідними модулями за порядковими номерами місць кортежів, утворюють систему векторів у вигляді двовимірної матриці. Двовимірній кільцевій ОСП відповідає система кодування двовимірних векторів за правилами, передбаченими для монолітного коду. Наприклад, 2-вимірна кільцева ОСП на послідовності 2-місних кортежів ((1,1), (1,2), (1,4), (1,3)) утворює досконалу (з погляду досягнення інформаційної безнадмірності монолітного коду) систему кодування усіх двовимірних векторів на матриці з розмірами 3×4, що ілюструє табл. 1.

Таблиця 1

Кодування двовимірних векторів у системі
((1,1), (1,2), (1,4), (1,3))

Вектор	Кодова комбінація			
(1,1)	1	0	0	0
(1,2)	0	1	0	0
(1,3)	0	0	0	1
(1,4)	0	0	0	1
(2,1)	0	1	1	0
(2,2)	0	0	1	1
(2,3)	1	1	0	0
(2,4)	1	0	0	1
(3,1)	1	1	0	1
(3,2)	1	1	1	0
(3,3)	1	0	1	1
(3,4)	0	1	1	1

З табл. 1 можна бачити, що наведені 4-розрядні комбінації закодованих у монолітному коді векторів від (1,1) до (3,4), заповнюють клітинки матриці розмірами 3×4, утворюючи систему кодування у вигляді двовимірного "кільцевого монолітного" коду. Ця властивість дає змогу подати в монолітному коді будь-який двовимірний вектор, обмежений рамками матриці 3×4. Описаний код є оптимальним кодом за критерієм мінімізації кількості розрядів з обмеженням на правила формування однойменних символів у дозволених кодових комбінаціях. Обмеження полягають в тому, що всі однойменні символи в межах відповідного блока розміщені один поряд з одним. Однак, як можна побачити з таблиці, незважаючи на ці обмеження, принцип ОСП, який закладено в основу побудови системи монолітного коду, уможливлює отримання якнайдовшого гармонійного ряду двомісних співвідношень. Це дає змогу формувати дозволені кодові комбінації векторів. Інформаційна система, яка основана на монолітному ОСП-коді, набуває ряду корисних властивостей, зокрема завдяки розмежуванню блоків "нулів" та "одиниць" обмежується вплив завад у каналі зв'язку, зростає швидкодія перетворення кодових сигналів та надійність системи перетворення кодових сигналів, підвищується рівень захисту закодованих даних від несанкціонованого доступу, спрощується схемна реалізація та керування пристроями перетворення сигналів.

Наступний приклад демонструє інший різновид досконалої системи "монолітного" кодування, яка, на відміну від попередньо розглянутої, дає змогу здійснювати обчислювальні операції на двовимірній матриці з розмірами 3×4 у межах змінювання від 0 до 2 – для першої, та від 0 до 3 – другої координат двовимірного векторного простору.

(0, 0) ≡ (2, 2) + (0, 2) + (1, 0),
(0, 1) ≡ (1, 1) + (2, 2) + (0, 2),
(0, 2) = (0, 2),
(0, 3) ≡ (1, 1) + (2, 2),
(1, 0) = (1, 0),
(1, 1) = (1, 1),
(1, 2) ≡ (0, 2) + (1, 0),
(1, 3) ≡ (1, 0) + (1, 1) + (2, 2),
(2, 0) ≡ (2, 2) + (0, 2),
(2, 1) ≡ (1, 0) + (1, 1),
(2, 2) = (2, 2),

$(2, 3) \equiv (0, 2) + (1, 0) + (1, 1)$

Обчислені значення векторів вичерпують координати комірок матриці 3×4:

(0, 0) (0, 1) (0, 2) (0, 3)
(1, 0) (1, 1) (1, 2) (1, 3)
(2, 0) (2, 1) (2, 2) (2, 3)

У табл. 2 наведена система кодування двовимірних векторів на кільцевій послідовності 2-кортежів ((0,2),(1,0),(1,1),(2,2)), де перша компонента вектора обчислюється за модулем $M1$ = 3, а друга – за модулем $M2$ = 4.

Таблиця 2

Система "монолітного" кодування 2-векторів на кільцевій послідовності ((0,2),(1,0),(1,1),(2,2))

Вектор	Код	Вектор	Код	Вектор	Код
(0,0)	1101	(1,0)	0100	(2,0)	1001
(0,1)	1011	(1,1)	0010	(2,1)	0110
(0,2)	1000	(1,2)	1100	(2,2)	0001
(0,3)	0011	(1,3)	0111	(2,3)	1110

Теоретичні дослідження, пов'язані з проблемою існування, переліку та синтезу дво- та багатовимірних систем кодування, дають змогу стверджувати про перспективність продовження досліджень на цьому напрямку та створення в майбутньому новітніх пристроїв та систем з розширеними технічними і функціональними можливостями, зокрема векторних інформаційних технологій, основаних на комп'ютерній арифметиці монолітного коду.

Висновки

Теорія векторних досконалих структур може застосовуватись у прогресивних інформаційних технологіях для побудови систем кодування та перетворення інформації на основі кільцевого монолітного коду, що передбачає кодування, пересилання та перетворення повідомлень у вигляді векторних (багатовимірних) масивів з досконало розподіленими з погляду мінімізації інформаційної надлишковості ваговими значеннями векторів. Ідея використання принципу оптимальних структурних пропорцій (ОСП), що виникла на перехресті теорії комбінаторних конфігурацій та кодування, відкриває новий напрям для фундаментальних і прикладних досліджень. Передбачається можливість створення процесорів, побудованих на векторній арифметиці ОСП. Отримані результати передбачають розширення сфери досліджень в тих галузях науки і техніки, де впроваджуються загальносистемні принципи, що базуються на теорії комбінаторних конфігурацій: математиці (векторна алгебра, теорія груп), обчислювальній техніці, криптографії, інформаційно-вимірювальній техніці, комп'ютерних технологіях, радіофізиці і системах зв'язку та суміжних галузях.

1. Цимбал В.П. Теория информации и кодирование. – К.: Вища школа, 1977. – 288 с. 2. Холл М. Комбинаторика. – М.: Мир, 1970. – 470 с.