1. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 3-е изд. – СПб: Питер, 2006. – 958 с. 2. Галлагер Р. Теория информации и надежная связь. – М.: Советское радио, 1974. – 720 с.

УДК 681.3:519.15

В. Різник[1,2], В. Парубчак[1], Д. Скрибайло-Леськів[1]
[1]Національний університет “Львівська політехніка”,
[2]Технічно-природничий університет, м. Бидгощ (Польща)

ПРОБЛЕМА ПОДОЛАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ НАДМІРНОСТІ МОНОЛІТНОГО КОДУ

Розглядається проблема подолання інформаційної надмірності монолітного коду методами теорії ідеальних кільцевих в’язанок (ІКВ), що ґрунтуються на комбінаторних властивостях оптимальних структурних пропорцій (ОСП). Результати дослідження можуть знайти застосування в прогресивних інформаційних технологіях для побудови систем кодування та перетворення інформації з використанням ідеального кільцевого монолітного коду (ІКМК), який передбачає високоякісне кодування, пересилання та перетворення даних.

A problem of overcoming the information redundancy of monolithic code using methods of Ideal Ring Bundles theory (IRBs-theory), based on remarkable combinatorial properties of the Optimal Structural Proportions (OSP)s, is regarded. Results of the researches allows on application in progressive information technologies for coded systems and transforming information technologies design, using the Ideal Ring Monolithic Code (IRMC), which provides high performance data coding, translating and transforming.

Вступ

У сучасних інформаційних технологіях велике значення має проблема зменшення інформаційної надмірності кодів. Ця проблема тісно пов’язана з подоланням суперечності між бажанням досягти якнайліпших показників щодо швидкодії коду (швидкість кодування, пересилання та декодування інформації) при забезпеченні високого рівня його захищеності від впливу різного роду зовнішніх завад під час опрацювання закодованої інформації. Розгортання досліджень у цьому напрямі за новими принципами та методами інформаційної оптимізації систем дають змогу поліпшувати технічні характеристики інформаційних систем.

Актуальність проблеми подолання інформаційної надмірності кодів

Під надмірністю системи розуміють перевищення обсягу сигналів або міри складності структур системи порівняно з їхніми мінімальними значеннями, необхідними для того, щоб виконати поставлене завдання [1]. Надмірність може вводитися штучно, коли потрібно, наприклад, поліпшити основні характеристики системи за надійністю, точністю або завадостійкістю.

Інформаційна надмірність кодів, як відомо, пов’язана з двома основними завданнями: 1) введенням штучної надмірності з метою поліпшення завадостійкості коду; 2) зменшенням природної інформаційної надмірності, щоб спростити систему кодування. На абстрактному рівні можна говорити про інформаційну надмірність системи кодування, тобто про надмірність у кількості інформації, яку переробляють. На відміну від інформаційної надмірності системи, існує поняття надмірності повідомлень, тобто величини, яка показує, наскільки ефективним є подання повідомлень в обраному алфавіті, коли вказується ентропія повідомлень, кількість символів, що використовується для кодування повідомлень, а також середня довжина кодових слів. Зменшення надмірності повідомлень, що зберігає міру точності, є стисненням повідомлень, яке можна виконати за допомогою двох операцій: дискретизації (тобто подання повідомлень скінченною кількістю дійсних чисел) і квантування (подання кожного дійсного числа за допомогою символів скінченного алфавіту). Задача дискретизації зводиться до апроксимації повідомлень скінченним рядом, а задача квантування аналогічна задачі оптимального статистичного кодування [1]. Щодо оцінювання складності системи, важко вказати на якийсь загальноприйнятий спосіб, а методи раціонального вибору співвідношення між кількістю елементів, їх взаємним розміщенням та обрання доцільної топологічної структури системи зі заданими технічними характеристиками здебільшого ґрунтуються на творчій інтуїції проектанта. Тому актуальним треба вважати дослідження проблеми інформаційної надмірності кодів з метою досягнення прийнятного компромісу для забезпечення, з одного боку, високого рівня завадостійкості коду, а з іншого – швидкого виявлення та виправлення можливих помилок в кодових комбінаціях під час їх пересилання та декодування.

Огляд літературних джерел

Огляд публікацій, пов’язаних з дослідженням проблеми подолання інформаційної надмірності, вказує на те, що цю проблему треба вважати розв’язаною лише для систем кодування з невпорядкованими наборами вагових розрядів коду, оскільки в цьому випадку оптимізація коду зводиться лише до вибору відповідних співвідношень між числовими значеннями вагових розрядів. Іншими словами, нас загалом не цікавить послідовність розміщення розрядів зваженого коду (ваги зростають або спадають). Ще італійський математик Леонардо Пізанський (Fibonacci) (1180–1240) довів оптимальність двійкової системи ваг за критерієм мінімізації числа ваг, відкривши двійковий алгоритм вимірювання і двійкову систему числення, яку покладено в основу більшості сучасних інформаційних технологій. Використання кодів Фібоначчі у цифровій техніці, як і більшості інших кодів, пов’язано з можливістю оптимізації систем вагових розрядів за обраним критерієм та встановленими обмеженнями на правила формування дозволених кодових комбінацій. Одним із напрямків таких досліджень є створення алгоритмічної теорії вимірювання та кодів «золотої пропорції» [2]. Основним результатом цієї теорії є широке узагальнення рекурентного співвідношення Фібоначчі, що породжує „безмежну” множину числових рядів.

Системи вагових розрядів, утворених за допомогою рядів *p*-чисел Фібоначчі:

$$j_p = \begin{cases} 0, & \text{якщо} \quad n\rangle 0 \\ 1, & \text{якщо} \quad n = 0 \\ j_p(n-1) + j_p(n-p-1), & \text{якщо} \quad n\rangle 0 \end{cases} \tag{1}$$

Легко побачити, що рекурентне співвідношення (1) при p=0 утворює ряд 1, 2, 4, 8, 16,...; при p=1 – ряд 1,1,2,3,5,8; при p=2 – ряд 1,1,1,2,3,4,6,9... і т.д; причому при $p=\infty$ ряд матиме вигляд 1,1,1,1,1,...,1.

Алгоритмічна теорія вимірювання знайшла застосування для створення логіко-достовірних комп′ютерів Фібоначчі, а також в задачах забезпечення самосинхронізації, контролю помилок та оптимального узгодження спектрів кодового сигналу і каналу для систем цифрової реєстрації та систем зв’язку, а також поліпшення технічних характеристик аналого-цифрових та цифро-аналогових перетворювачів завдяки надмірності кодів, побудованих на рекурентних співвідношеннях Фібоначчі [2]. Частковими випадками числових рядів, сприятливих для формування кодових послідовностей, постають також степеневі ряди чисел, система біноміальних коефіцієнтів, а також натуральний ряди чисел [3].

Проблема подолання інформаційної надмірності монолітного коду з використанням теорії ідеальних кільцевих в'язанок (ІКВ) частково розглядається у [4, 5]. У цих публікаціях досліджується можливість досягнення оптимального послідовного розміщення вагових розрядів коду за критерієм досягнення максимального «гуртування» однойменних символів під час формування дозволених кодових комбінацій на осі часу. За таких обмежень будь-яка дозволена кодова комбінація складається не більше ніж з двох груп символів, де в кожній групі всі символи однойменні. Для вирішення проблеми необхідно встановити правила комплектування вагових розрядів, які забезпечували б можливість формування на множині кодових комбінацій якнайдовшого ряду вагових значень коду, пропорційних числам натурального ряду, а в ідеалі – вичерпували б натуральний ряд чисел на множині комбінаторних станів.

Основні властивості ідеального кільцевого монолітного коду

Ідеальний кільцевий монолітний код (ІКМК) утворюється на циклічній послідовності цілих додатних чисел, $(k_1, k_2, \ldots, k_i, \ldots, k_n)$, розміщених так, що останній елемент k_n цієї послідовності прилягає до першого елементу, тобто k_1.

Введемо поняття кільцевої суми на згаданій *n*- послідовності, яка описується залежністю:

$$S = S(p_j, q_j) = \begin{cases} \sum\limits_{i=p_j}^{q_j} k_i & p_j \le q_j \\ \sum\limits_{i=p_j}^{n} k_i + \sum\limits_{i=1}^{q_j} k_i & p_j > q_j \end{cases} \tag{2}$$

де $p_j, q_j \in \{1,2,\ldots,n\}$, $j=1,2,\ldots, n(n-1)$.

Для обчислення усіх можливих кільцевих сум за залежністю (2) доцільно скласти табл. 1.

$$S = n^2 - (n-1) \tag{3}$$

Таблиця 1

Кільцеві суми на послідовності $(k_1, k_2, \ldots, k_i, \ldots, k_n)$

p_j	q_j							
	1	**2**	…	**l-1**	**l**	…	**n-1**	**n**
1	k_1	$\sum_{i=1}^{2} k_i$	…	$\sum_{i=1}^{l-1} k_i$	$\sum_{i=1}^{l} k_i$	…	$\sum_{i=1}^{n-1} k_i$	$\sum_{i=1}^{n} k_i$
2	$\sum_{i=1}^{n} k_i$	k_2	…	$\sum_{i=2}^{l-1} k_i$	$\sum_{i=2}^{l} k_i$	…	$\sum_{i=2}^{n-1} k_i$	$\sum_{i=2}^{n} k_i$
…	…	…	…	…	…	…	…	…
l-1	$\sum_{i=l-1}^{n} k_i + \sum_{i=1}^{1} k_i$	$\sum_{i=l-1}^{n} k_i + \sum_{i=1}^{2} k_i$	…	k_{l-1}	$\sum_{i=l-1}^{l} k_i$	…	$\sum_{i=l-1}^{n-1} k_i$	$\sum_{i=l-1}^{n} k_i$
l	$\sum_{i=l}^{n} k_i + \sum_{i=1}^{1} k_i$	$\sum_{i=l}^{n} k_i + \sum_{i=l}^{2} k_i$	…	$\sum_{i=1}^{n} k_i$	k_l	…	$\sum_{i=l}^{n-1} k_i$	$\sum_{i=l}^{n} k_i$
…	…	…	…	…	…	…	…	…
***n*-1**	$\sum_{i=n-1}^{n} k_i + \sum_{i=1}^{1} k_i$	$\sum_{i=n-1}^{n} k_i + \sum_{i=1}^{2} k_i$	…	$\sum_{i=n-1}^{n} k_i + \sum_{i=1}^{l-1} k_i$	$\sum_{i=n-1}^{n} k_i + \sum_{i=1}^{l} k_i$	…	k_{n-1}	$\sum_{i=n-1}^{n} k_i$
n	$\sum_{i=n}^{n} k_i + \sum_{i=1}^{1} k_i$	$\sum_{i=n}^{n} k_i + \sum_{i=1}^{2} k_i$	…	$\sum_{i=n}^{n} k_i + \sum_{i=1}^{l-1} k_i$	$\sum_{i=n}^{n} k_i + \sum_{i=1}^{l} k_i$	…	$\sum_{i=1}^{n} k_i$	k_n

За допомогою табл. 1 легко визначити загальну кількість S усіх кільцевих сум вагових розрядів, отриманих різними способами додавання послідовно розміщених вагових розрядів n-послідовності (k_1 , k_2 ,..., k_i ,..., k_n). Взявши до уваги те, що кільцева сума, записана у крайній праворуч клітинці згори таблиці, зустрічається ще в $n - 1$ клітинках поруч клітинок нижче головної діагоналі, справедливим є вираз:

Задача полягає в обранні таких вагових розрядів коду, щоб усі клітинки таблиці, крім вищезгаданих n–1 клітинок, що знаходяться поруч клітинок нижче головної діагоналі, були заповнені числами натурального ряду від 1 до S, кожне з яких трапляється по одному разу. Така постановка задачі приводить до означення понять «ідеальна кільцева в'язанка» (ІКВ), «оптимальна структурна пропорція» (ОСП) та «ідеальний кільцевий монолітний код» (ІКМК) [1].

Ідеальною кільцевою в'язанкою називається циклічна послідовність цілих чисел (k_1 , k_2 ,..., k_i ,..., k_n), за якою таблиця кільцевих сум вичерпує ряд натуральних чисел від 1 до $S = n–(n$ -1).

Нижче наведено приклад заповнення таблиці кільцевих сум на циклічній n -послідовності (n=4) цілих чисел (1,2,6,4) (табл.2).

Таблиця 2

Кільцеві суми на послідовності (1,2,6,4)

p_j	q_j			
	1	2	3	4
1	1	3	9	13
2	13	2	8	12
3	11	13	6	10
4	5	7	13	4

У табл.2 записані всі можливі числа натурального ряду від 1 до $S = n^2 - n + 1 = 4^2 - 4 + 1 = 13$. Отже, кільцева послідовність чисел (1,2,6,4) є ідеальною кільцевою в'язанкою й одночасно ідеальним кільцевим монолітним кодом з параметрами n=4, R=1, де n – число розрядів, R – число способів кодування кожного з чисел 1,2,…, $n(n-1)/R$ = 12 в ІКМК. Усі відомі традиційні коди, крім стандартного двійкового, прийнято вважати такими, що належать до категорії інформаційно надмірних. Вищезгадана властивість кільцевого монолітного коду дає підстави трактувати ІКМК як інформаційну систему, у якій вдалося подолати надмірність за наявності обмежень на спосіб формування вагових значень дозволених кодових комбінацій. Суть способу полягає у додаванні ваг розрядів, що розміщені виключно поруч один одного за кільцевою схемою. Саме завдяки вдалому розподілу ваг розрядів на кільцевій топологічній структурі при формуванні кодових комбінацій вдалося теоретично повністю позбутися надмірності. По суті, ІКМК можна розглядати як генератор кодових комбінацій з циклічною структурою, що дає змогу кодувати усі числа натурального ряду фіксованою кількістю способів у вигляді «пачок» однойменних символів, причому потужність коду (загальна кількість усіх можливих способів кодування чисел) збігається з кількістю усіх можливих кодових комбінацій, які вичерпують весь набір дозволених комбінацій.

Інформаційна система, яка ґрунтується на ІКМК, набуває таких корисних властивостей [5]:

1. Завдяки формуванню кодових комбінацій у вигляді «пачок» однойменних символів обмежується рівень впливу завад в каналі зв'язку; **2**. Завдяки обмеженню кількості фронтів імпульсних кодових сигналів двома (передній і задній) зменшується вплив явища "змагань", що дає змогу підвищити верхню границю тактової частоти; **3**. Зростає рівень завадостійкості системи перетворення кодових сигналів, швидше виявляються та виправляються помилки завдяки спрощенню процедури їх виявлення та виправлення; **4.** Спрощується алгоритм керування пристроями перетворення кодових сигналів завдяки зведенню до мінімуму кількості процедур.

Одним із шляхів зменшення інформаційної надмірності будь-якої системи кодування інформації є врахування та дотримання обмежень, пов'язаних з протяжністю простору і часу. Саме ця вимога задовольняється, коли перетворення інформації здійснюється за ідеальним кільцевим монолітним кодом. Тому доцільним є проектування систем кодування інформації на основі ІКМК.

Висновки

Ідеальний кільцевий монолітний код (ІКМК) – це код, в якому вдалося подолати проблему інформаційної надмірності. Він має низку переваг порівняно зі стандартним двійковим кодом, зокрема вищу надійність та швидкодію. Код може знайти застосування в прогресивних інформаційних технологіях для побудови систем кодування та перетворення інформації. Надзвичайно корисні властивості ІКМК можуть бути підставою для розгортання фундаментальних та прикладних досліджень у напрямку вдосконалення інформаційних технологій, що ґрунтуються на принципі оптимальних структурних пропорцій (ОСП). Однак, ще існують труднощі, пов'язані з виробленням методів розпізнавання помилок в перехідних розрядах і пакетів помилок, що потребує додаткового опрацювання.

1. Енциклопедія кібернетики / Головна редакція УРЕ. – К. 1973. 2. Стахов А.П. Введение в алгоритмическую теорию измерения. – М., 1977. 3. ГОСТ 8032-84. Предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел. 4. Різник В.В. Синтез оптимальних комбінаторних систем. – Львів: Вища школа, 1989. – 168 с. 5. Бандирська О.В. Від теорії безнадлишкових шкал до прогресивних інформаційних технологій // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка». 2007. – № 604. – С.158–165.