УДК 629.391

П.Ф. Поляков[1], В.В. Бараннік[2], Г.В. Хаханова[3]

[1]*Державний економіко-технологічний університет транспорту, Київ*
[2]*Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків*
[3]*Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків*

СТИСНЕННЯ ДВІЙКОВИХ СТРУКТУР НА ОСНОВІ КАСКАДНОГО КОДУВАННЯ У ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Обґрунтовується, що за рахунок представлення двійкового масиву як цілісної структури у вигляді каскадного структурного числа, що задовольняє обмеженням на число серій одиниць і на динамічний діапазон кодів-номерів одновимірних плаваючих структурних чисел (ОПСЧ) забезпечується додаткове скорочення структурної надмірності. Доводиться теорема про формування кода-номера для каскадного структурного числа. Показується, що кількість розрядів на представлення двійкового стовпця що розглядається як елемент каскадного структурного числа менший, ніж кількість розрядів на представлення того ж стовпця, але що розглядається як одновимірне плаваюче структурне число.

Ключові слова: *одновимірне плаваюче структурне число, каскадне структурне число.*

Введення

Постановка проблеми і аналіз літератури. Особливості обробки інформації в телекомунікаційних системах полягають в тому, що: на обробку подаються нерівномірні двійкові послідовності, що мають довільну структуру і різні статистичні характеристики. При цьому різна інтенсивність трафіку, виникнення черг і дублювання пакетів приводить до додаткового збільшення об'ємів, що обробляється та передається в телекомунікаційних системах (ТКС) даних [1]. Це є однією з причин збільшення часу доведення інформації. Звідси виникає ***науково-прикладне завдання***, що полягає в зменшенні об'ємів двійкових даних в ТКС.

Напрямок рішення такої задачі полягає в організації компактного представлення двійкових даних [2 – 5]. Одним з ефективних методів стиснення базується на одновимірному структурному кодуванні [6]. Проте для такого кодування існує недолік, пов'язаний з тим, що кількість M розрядів на представлення кода-номера C_ν визначається, як $M = [\ell og_2 V_{\nu,\eta}] + 1$ біт. З іншого боку для значення кода-номера може виконуватися нерівність

$$C_\nu <<< V_{\nu,\eta} . \quad (1)$$

Тоді для реальної довжини $\ell og_2 C_\nu$ кодограми виконується умова

$$\ell og_2 C_\nu <<< [\ell og_2 V_{\nu,\eta}] + 1 . \quad (2)$$

В цьому випадку з'являється велика кількість незначущих розрядів, рівна $[\ell og_2 V_{\nu,\eta}] + 1 - \ell og_2 C_\nu$ бітам. Така кількість розрядів є надмірною і призводить до зниження коефіцієнта стиску двійкових матриць.

Це означає що потрібно забезпечити додаткове підвищення ступеня компресії даних в умовах довільної двійкової структури. Звідси витікає, що, ***ціль досліджень*** полягає в розробці методу стиску без втрати інформації, що враховує двохкаскадну структуру двійкових масивів.

Основний матеріал

Для усунення недоліку, який пов'язаний з вибором великої довжини кодограми для представлення кода-номера одновимірного структурного числа пропонується розглядати сукупність окремих двійкових стовпців (ОПС чисел) з врахуванням додаткових обмежень на їх динамічні діапазони

$$C_\nu <<< \lambda_\nu . \quad (3)$$

В цьому випадку двійкові масиви розглядаються як цілісні структурні об'єкти.

Визначення 1. Каскадним структурним числом $G^{(2)}$ називаються двійкові масиви $G = \{G^{(\ell)}\}_{\ell = \overline{1,n}}$ (послідовність стовпців, складених з двійкових елементів $g_{k\ell} \in [0;1]$), стовпцями яких є одновимірні плаваючі структурні числа, для яких визначено число серій одиниць

$$G^{(\ell)} = \{g_{k\ell}\}_{k=\overline{1,n}} \to \eta_\ell , \quad (4)$$

а значення C_ℓ кодів-номерів обмежені зверху величинами $F(\eta,\lambda)_\ell$:

$$C_\ell < F(\eta,\lambda)_\ell = \min(V_{\ell,\nu,\eta}; \lambda_\ell), \ \ell = \overline{1,n} . \quad (5)$$

Визначення 2. Множиною $\Omega^{(2)}_{n,\eta,\lambda}$ допустимих каскадних структурних чисел (КСЧ) називається множина, що складається з двовимірних двійкових масивів, для яких виконуються умови:

1) число серій одиниць для ℓ-го стовпця масиву рівна η_ℓ, $\ell = \overline{1,n}$;

2) величина кода-номера C_ℓ, сформованого для ℓ-го ОПСЧ, обмежена зверху величиною $\min(V_{\ell,\nu,\eta}; \lambda_\ell)$, $\ell=\overline{1,n}$.

Для визначення об'єму множини $\Omega^{(2)}_{n,\eta,\lambda}$ сформулюємо і доведемо наступну теорему.

Теорема про об'єм множини каскадних структурних чисел. Кількість $V^{(2)}_{n,\eta,\lambda}$ каскадних структурних чисел, що задовольняють обмеженням (4) і (5) рівна

$$V^{(2)}_{n,\eta,\lambda} = \prod_{\ell=1}^{n} F(\eta,\lambda)_\ell ; \qquad (6)$$

$$F(\eta,\lambda)_\ell = \min(V_{\ell,\nu,\eta}; \lambda_\ell), \ \ell=\overline{1,n}; \qquad (7)$$

$$V_{\ell,\nu,\eta} = (\nu+1)!/\ (2\eta_\ell)!\ \ (\nu+1-2\eta_\ell)!, \qquad (8)$$

де η_ℓ – значення числа серій одиниць для ℓ-го ОПСЧ двійкового масиву; ν – довжина ОПСЧ, в окремому випадку рівна $\nu = n$.

Доказ. Оскільки на першому каскаді стовпці КСЧ є ОПС числа, то значення їх кода-номера рівно C_ℓ. З другого боку величини C_ℓ є елементами масиву C. Тоді виникають варіанти, коли виконується одна з нерівностей $\max\limits_{1\le\psi\le\Psi}\{C_{\ell\psi}\}+1 < V_{\ell,\nu,\eta}$ або $\max\limits_{1\le\psi\le\Psi}\{C_{\ell\psi}\}+1 \ge V_{\ell,\nu,\eta}$. Тому величина C_ℓ буде обмежена величиною $F(\eta,\lambda)_\ell$:

$$C_\ell < F(\eta,\lambda)_\ell = \begin{cases} \lambda_\ell, & \to \lambda_\ell < V_{\ell,\nu,\eta}; \\ V_{\ell,\nu,\eta}, & \to \lambda_\ell \ge V_{\ell,\nu,\eta}. \end{cases}$$

Кількість послідовностей, на значення елементів яких накладені обмеження, дорівнює кількості перестановок з повтореннями з обмеженнями на динамічний діапазон елементів. Теорема доведена.

З доведення теореми про об'єм $V^{(2)}_{n,\eta,\lambda}$ множини $\Omega^{(2)}_{n,\eta,\lambda}$ КСЧ витікає слідство.

Слідство 1. Для будь-яких заданих величин η_ℓ, $\ell=\overline{1,n}$ виконується нерівність між максимальною сумарною кількістю розрядів $\sum\limits_{\ell=1}^{n}\ell og_2 V_{\nu,\eta_\ell}$ на представлення послідовності ОПСЧ що розглядаються як окремі числа і максимальною кількістю розрядів $\ell og_2 V^{(2)}_{n,\eta,\lambda}$, що витрачається на представлення тієї ж послідовності ОПСЧ, але що розглядається як каскадне структурне число

$$\ell og_2 V^{(2)}_{n,\eta,\lambda} \le \sum_{\ell=1}^{n} \ell og_2 V_{\nu,\eta_\ell}. \qquad (9)$$

Це означає що в результаті формування каскадного числа з окремих ОПСЧ забезпечується скорочення кількості розрядів на їх представлення щодо початкового варіанту. Дана умова виконується через облік ситуацій коли $C_\nu \lll V_{\nu,\eta}$.

Для формування кода-номера каскадному структурному числу необхідно розробити відповідний процес нумерації допустимих двійкових комбінацій, що належать множині $\Omega^{(2)}_{n,\eta,\lambda}$.

Для цього сформулюємо визначення.

Визначення 3. Каскадною структурною нумерацією даних називається процес обчислення порядкового номера, яке займає каскадне структурне число в допустимій множині $\Omega^{(2)}_{n,\eta,\lambda}$.

Для двійкового масиву $G=\{g_{k\ell}\}$, $k=\overline{1,n}$, $\ell=\overline{1,n}$, $g_{k\ell}\in\{0;1\}$, що розглядається як КСЧ можна сформувати код-номер $C^{(2)}$, обчислюваний на основі виразів:

$$C^{(2)} = \sum_{\ell=1}^{n} \left(\sum_{k=1}^{n} g_{k\ell}\, p_{k\ell}\right) \prod_{\phi=\ell+1}^{n} F(\eta,\lambda)_\ell ; \qquad (10)$$

$$g_{0\ell}=0;\ \beta_{0\ell}=2\eta_\ell;\ \beta_{k\ell}=\beta_{k-1,\ell}-\left|g_{k-1,\ell}-g_{k\ell}\right|, \qquad (11)$$

де $p_{k\ell}$ – значення вагового коефіцієнта елементу $g_{k\ell}$ одновимірного плаваючого структурного числа; n – кількість двійкових елементів в ОПСЧ; $\beta_{k\ell}$ – рекурентний параметр, рівний кількості двійкових перепадів (переходів між «0» і «1») для послідовності, що складається з $(n-k+1)$ необроблених елементів.

Для побудови каскадних кодових конструкцій $C^{(2)}_\psi$ потрібно будувати масиви C, що складаються із значень кодів-номерів C_ν окремих ОПСЧ і проводити виділення динамічних діапазонів по рядках масиву C.

Іншими словами здійснюється побудова другого каскаду кодових конструкцій.

Визначення 4. Каскадними кодовими конструкціями ОПСЧ називаються кодові конструкції, які формуються в результаті побудови кодів-номерів для сукупності одновимірних плаваючих структурних чисел. Масив C має наступний вигляд:

$$C = \begin{vmatrix} C_{11} & \dots & C_{1\psi} & \dots & C_{1\Psi} \\ C_{\ell 1} & \dots & C_{\ell\psi} & \dots & C_{\ell\Psi} \\ C_{n1} & \dots & C_{n\psi} & \dots & C_{n\Psi} \end{vmatrix},$$

де $C_{\ell\psi}$ – код-номер одновимірного плаваючого структурного числа, сформованого на базі ℓ-го стовпця ψ-го двійкового масиву; Ψ – кількість двійкових масивів, для яких формується каскадні кодові конструкції.

Процес каскадного структурного кодування включає наступні етапи:

1. Одновимірні структурні плаваючі числа будуються з врахуванням виконання умов

$$\sum_{\ell=1}^{2}([\ell og_2(V(\nu_\ell,\eta_\ell^{(\theta)}))]+1) \ \geq \ [\ell og_2 V_{\nu,\eta}]+1;$$

$$[\ell og_2\eta_{max}+1]+1 \ \leq \ \sum_{\ell=1}^{2}([\ell og_2\eta_{\ell,max}+1]+1),$$

де η_{max}, $\eta_{\ell,max}$ – максимальне значення числа серій одиниць для ОПСЧ, що мають довжину відповідно рівну ν і ν_ℓ.

В цьому випадку $\nu=n$. Пропонується використовувати $n=8$.

2. Проводиться перерозподіл службових даних залежно від значень $V_{\nu,\eta}$ об'ємів допустимої множини ОПС чисел. Для цього використовуються співвідношення:

1) для ν парного і η_{max} парного:

$\eta_{cp}=0$; якщо $\eta>\eta_{cp}$, то $\eta=2(\eta-\eta_{cp})-1$;

якщо $\eta<\eta_{cp}$, то $\eta=2(\eta_{cp}-\eta)$;

2) для ν парного і η_{max} непарного:

$\eta=\lceil(\nu+1)/4\rceil=0$; якщо $\eta>\lceil(\nu+1)/4\rceil$, то

$\eta=2(\eta-\lceil(\nu+1)/4\rceil)$;

якщо $\eta<\lceil(\nu+1)/4\rceil$, то $\eta=2(\lceil(\nu+1)/4\rceil-\eta)-1$

3) для ν непарного і η_{max} парного:

$\eta_{cp}=0$; якщо $\eta>\eta_{cp}$, то $\eta=2(\eta-\eta_{cp})-1$;

якщо $\eta<\eta_{cp}$, то $\eta=2(\eta_{cp}-\eta)$;

4) для ν непарного і η_{max} непарного:

$\eta=\lceil(\nu+1)/4\rceil=0$; якщо $\eta>\lceil(\nu+1)/4\rceil$, то

$\eta=2(\eta-\lceil(\nu+1)/4\rceil)$;

якщо $\eta<\lceil(\nu+1)/4\rceil$, то $\eta=2(\lceil(\nu+1)/4\rceil-\eta)-1$;

3. Для масивів C здійснюється виявлення обмежень на динамічні діапазони λ_ℓ, які використовуються для обчислення вагових коефіцієнтів $F(\eta,\lambda)_\ell$:

$$\lambda_\ell=\max_{1\leq\psi\leq\Psi}\{C_{\ell\psi}\}+1, \qquad (12)$$

де λ_ℓ обмеження на діапазон величин $C_{\ell\psi}$ у ℓ-й рядку.

4. Проводиться формування кодів-номерів $C_\psi^{(2)}$ другого каскадного рівня, сформованого для ψ-го стовпця масиву C на основі параметрів $\psi=\overline{1,\Psi}$:

$$C_\psi^{(2)}=\sum_{\ell=1}^{n}\left(\sum_{k=1}^{n}g_{k\ell}^{(\psi)}\,p_{k\ell}^{(\psi)}\right)\prod_{\phi=\ell+1}^{n}F(\eta,\lambda)_\phi\ ; \qquad (13)$$

$$g_{0\ell}=0;\ \beta_{0\ell}=2\eta_\ell;\ \beta_{k\ell}=\beta_{k-1,\ell}-\left|g_{k-1,\ell}-g_{k\ell}\right|, \qquad (14)$$

де $g_{k\ell}^{(\psi)}$ – $(k;\ell)$-й елемент ψ-го каскадного структурного числа $p_{k\ell}^{(\psi)}$ – ваговий коефіцієнт елементу $g_{k\ell}^{(\psi)}$.

З особливостей формування каскадних кодових структур витікає наступне слідство.

Слідство 2. Значення кода-номера $C_\psi^{(2)}$ каскадного структурного числа буде менше величини $V_{n,\eta,\lambda}^{(2)}$, яка дорівнює сумарній кількості КСЧ:

$$C_\psi^{(2)}<V_{n,\eta,\lambda}^{(2)}=\prod_{\ell=1}^{n}F(\eta,\lambda)_\ell\ . \qquad (15)$$

На основі доведеного слідства 2 витікає, що для заданих параметрів n, λ_ℓ і $\{\eta_1,...,\eta_\ell,...,\eta_n\}$ верхньою межею кількості розрядів, що відводиться на представлення кода-номера $C_\psi^{(2)}$ каскадного структурного числа, є величина $(\ell og_2 V_{n,\eta,\lambda}^{(2)}+1)$:

$$\ell og_2 C_\psi^{(2)}<1+\ell og_2 V_{n,\eta,\lambda}^{(2)}. \qquad (16)$$

Слідство 3. Для заданих значень величин: довжини ОПСЧ n, вектора обмежень $F=\{F(\eta,\lambda)_\ell\}_{\ell=\overline{1,n}}$ і вектора $\{\eta_1,...,\eta_\ell,...,\eta_n\}$ обмежень на число серій одиниць в двійкових стовпцях каскадного структурного числа виконується нерівність

$$\ell og_2\overline{C}_\psi^{(2)}\ \leq\ \sum_{\ell=1}^{n}\ell og_2 C_{\ell\psi}/n, \qquad (17)$$

де $\ell og_2\overline{C}_\psi^{(2)}$ – усереднене по кількості n двійкових стовпців, що входять в КСЧ, значення кількості розрядів, які витрачаються на представлення величини $C_\psi^{(2)}$:

$$\ell og_2\overline{C}_\psi^{(2)}=\ell og_2 C_\psi^{(2)}/n; \qquad (18)$$

$\sum_{\ell=1}^{n}\ell og_2 C_{\ell\psi}/n$ – середня кількість розрядів, які витрачається на представлення одного стовпця, що розглядається як окреме одновимірне плаваюче структурне число.

Таким чином:

1. Обґрунтовано, що за рахунок представлення двійкового масиву як цілісної структури у вигляді каскадного структурного числа, яке задовольняє обмеженням на число серій одиниць і на динамічний діапазон кодів-номерів ОПСЧ забезпечується додаткове скорочення структурної надмірності.

2. Доведена теорема про формування кода-номера для каскадного структурного числа. На основі доведеної теореми виявлена верхня межа для кількість розрядів, що відводиться на представлення кода-номера КСЧ.

3. Доведено, що кількість розрядів на представлення двійкового стовпця який розглядається як

елемент каскадного структурного числа менший, ніж кількість розрядів на представлення того ж стовпця, але що розглядається як одновимірне плаваюче структурне число.

Висновок

1. Створені методологічні основи двійкового каскадного структурного кодування. Каскадним структурним числом є двовимірний масив, для якого на рівні двійкових стовпців проводиться розгляд у вигляді структурних плаваючих чисел, а на рівні кодів-номерів окремих стовпців виявляються додаткові обмеження на динамічний діапазон. В цьому випадку двійкові масиви розглядаються як цілісні структурні об'єкти.

2. Розроблена нумерація каскадних структурних чисел, що дозволяє формувати кодограму для довільного двійкового масиву, враховуючи структурні обмеження на двох каскадних рівнях. На основі побудованої нумерації обґрунтовано, що:

– за рахунок представлення двійкового масиву як цілісної структури у вигляді каскадного структурного числа, що задовольняє обмеженням на число серій одиниць і на динамічний діапазон кодів-номерів ОПСЧ забезпечується додаткове скорочення структурної надмірності;

– існує верхня межа для кількості розрядів, кода-номера КСЧ, які відводяться на його представлення;

– кількість розрядів на представлення двійкового стовпця який розглядається як елемент каскадного структурного числа менший, ніж кількість розрядів на представлення того ж стовпця, але який розглядається як одновимірне плаваюче структурне число.

Список літератури

1. Уолрэнд Дж. Телекоммуникационные и компьютерные сети / Дж .Уолрэнд. – М.: Постмаркет, 2001. – 480 с.

2. Ватолин В.И. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео / В.И. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин. – М.: ДИАЛОГ – МИФИ, 2002. – 384 с.

3. Королев А.В. Оценка количества информации изображения по числу серий одинаковых элементов / А.В. Королев, В.В. Баранник // Системи обробки інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2002. – Вип. 2 (18). – С. 43-46.

4. Баранник В.В. Рекуррентное двухпризнаковое двоичное полиадическое кодирование / В.В. Баранник, А.К. Юдин // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: НАКУ «ХАИ». – 2006. – Вып. 33. – С. 22-28.

5. Баранник В.В. Усеченное представление двоичных данных с ограниченным числом серий в полиадическом пространстве / В.В. Баранник, А.К. Юдин // Авиационно-космическая техника и технология. – 2006. – № 2. – С. 87-92.

6. Бараннік В.В., Хаханова А.В. Нумерація одновимірних плаваючих структурних чисел в двійковому просторі / В.В. Бараннік, А.В. Хаханова // Системи озброєння та військова техніка. – 2008. – № 2 (14). – С. 73-75.

Надійшла до редколегії 26.09.2008

Рецензент: д-р тех. наук, проф. Ю.В. Стасєв, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

СЖАТИЕ ДВОИЧНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ КАСКАДНОГО КОДИРОВАНИЯ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

П.Ф. Поляков, В.В. Баранник, А.В. Хаханова

Обосновывается, что за счет представления двоичного массива как целостной структуры в виде каскадного структурного числа, которое удовлетворяет ограничением на число серий единиц и на динамический диапазон кодов-номеров одномерных плавающих структурных чисел (ОПСЧ) обеспечивается дополнительное сокращение структурной избыточности. Доказывается теорема о формировании кодового номера для каскадного структурного числа. Показывается, что количество разрядов на представление двоичного столбца, который рассматривается как элемент каскадного структурного числа меньше, чем количество разрядов на представление того же столбца, но который рассматривается как одномерное плавающее структурное число.

Ключевые слова: *одномерное плавающее структурное число, каскадное структурное число.*

COMPRESSION OF BINARY STRUCTURES ON THE BASIS OF THE CASCADE ENCODING IN THE TELECOMMUNICATION SYSTEMS

P.F. Polyakov, V.V. Barannik, A.V. Hahanova

Grounded, that due to presentation of binary array as integral structure as a cascade structural number which satisfies with a limit on the number of carouses of units and on the dynamic range of code-numbers of one-dimensional floating structural numbers (OFSN) additional reduction of structural surplus is provided. A theorem is proved about forming of code number for a cascade structural number. Shown, that amount of digits on presentation of binary column, which is examined as an element of cascade structural number less than, than amount of digits on presentation of that column, but which is examined as an one-dimensional floating structural number.

Keywords: *unidimensional floating structural number, cascade structural number.*