

УДК 621.327:681.5

В.В. Бараннік¹, О.В. Слободянюк²¹Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків²Кам'янець-Подільський національний університет, Кам'янець-Подільський

МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ІНФОРМАТИВНОСТІ МУЛЬТИІЗОТРОПНОГО ЗВ'ЯЗНОГО АРХІТЕКТУРНОГО ПРЕДСТАВЛЕННЯ В ПОЛІАДИЧНОМУ ПРОСТОРИ

Розглядаються етапи побудови інформаційної моделі архітектурного представлення мультиізотропного опису рельєфу зображення. Показується, що створена модель дозволяє визначити: максимальну і мінімальну кількість розрядів, що потрібно витратити для взаємооднозначного опису архітектурного позиціонування висот рельєфу зображення; кількість комбінаторної надмірності, що усувається на основі архітектурного позиціонування висот мультиізотропного опису рельєфу зображення з врахуванням одночасного обліку обмежень на кількість позицій що допускають появу одиничних елементів та обмежень на динамічні діапазони елементів ПМ. Обґрунтовується, що мінімальна кількість надмірності усувається тоді, коли максимальна кількість висот міститься в останньому ізотропному рівні, а в попередніх рівнях міститься мінімально допустима кількість висот.

Ключові слова: рельєфне представлення зображень, архітектурне позиціонування, інформативність.

Вступ

Постановка проблеми і аналіз літератури.

Одній з найбільш значущих причин, що впливають на ефективність функціонування телекомунікаційних систем (ТС) є великі об'єми даних [1]. Значну частину яких складають відеодані [1 – 3]. Така тенденція приводить до перевантажень в ТС і до підвищення часу обробки та передачі даних. Використання в ТС технологій компресії даних [2 – 4] не приводить до відчутних результатів. З одного боку найбільші ступені стиснення досягаються за рахунок втрати якості відновлених зображень, а з іншої – низькі ступені стиску в системах обробки без внесення погрешності. Отже, **науково-прикладна задача** полягає в зниженні часу доставки достовірних даних по ТС. Один з напрямків щодо розробки нових підходів відносно організації стиску даних ґрунтується на формуванні мультиізотропного рельєфного представлення зображень [5]. Для опису рельєфного мультиізотропного представлення формується архітектурне позиціонування висот. В даному випадку кожен ізотропний рівень замінюється значенням висоти і двовимірним двійковим масивом, елементи якого містять інформацію про наявність на відповідній позиції висоти поточного ізотропного рівня. Для оцінки ефективності такого підходу необхідно розробити модель оцінки інформативності.

Звідки **ціль статті** полягає в розробки моделі оцінки інформативності мультиізотропного рельєфного опису зображень з врахуванням особливостей побудови архітектурного позиціонування.

Побудова інформаційної моделі

Для додаткового зменшення кількості розрядів на подання позиційної інформації пропонується розглядати архітектуру мультиізотропного рельєфу як тривимірну зв'язну структуру у двійковому поліа-

дичному просторі. У цьому випадку для елементів позиційних масивів (ПМ) одночасно виконуються дві умови:

1) умова, що представлена виразами:

$$\phi_{ij}^{(u)} = \begin{cases} 1, \rightarrow \phi_i^{(u)} \otimes \phi_j^{(u)} = 0; \\ 2, \rightarrow \phi_i^{(u)} \otimes \phi_j^{(u)} = 1; \end{cases} \quad (1)$$

$$b_{ij}^{(u)} \leq \phi_{ij}^{(u)} - 1, \quad (2)$$

де $\phi_i^{(u)} \otimes \phi_j^{(u)}$ – векторний добуток величин $\phi_i^{(u)}$ і $\phi_j^{(u)}$.

Дані вирази задають двійковий поліадичний простір для кожного ПМ;

2) умова

$$b_{ij}^{(u)} = 1 \Rightarrow b_{ij}^{(\xi)} = 0 \text{ для } \xi = \overline{1, U} \text{ й } \xi \neq u, \quad (3)$$

визначальна властивість зв'язності рівнів архітектури.

Визначимо припустиму кількість таких тривимірних структур як $Q_\phi^{(cb)}$.

Теорема про кількість архітектури мультиізотропного опису рельєфу з врахуванням умови зв'язності позиційних матриць у просторі обмежень на динамічний діапазон. Величина $Q_\phi^{(zb)}$ для заданих параметрів ($m \times n$ - розміри позиційних площин, U - кількість ізотропних рівнів, системи обмежень на динамічні діапазони елементів ПМ $\phi_{ij}^{(u)}$, $u = \overline{1, U}$) архітектури рельєфу зображення дорівнює

$$Q_\phi^{(zb)} = \prod_{u=1}^U \prod_{i=1}^m \prod_{j=1}^n ((\phi_i^{(u)} \otimes \phi_j^{(u)}) \otimes r_{ij}^{(u)}), \quad (4)$$

де $\phi_{ij}^{(u)}$ – динамічний діапазон (i; j)-го елемента u-го ПМ; $r_{ij}^{(u)}$ – значення ознаки (i; j)-ї позиції u-го ізотропного рівня.

Доказ. За умовою теореми для першого ПМ кількість заборонених позицій одиниць дорівнює

$\bar{w}_1 = 0$. Тоді $Q_1^{(\phi)}$ перестановок з повтореннями у двійковому поліадичному просторі, складеного з першого позиційного масиву дорівнює

$$Q_1^{(\phi)} = \prod_{i=1}^m \prod_{j=1}^n \phi_{ij}^{(1)}. \quad (5)$$

Для u -го позиційного масиву виконуються два обмеження:

– для елементів $b_{ij}^{(u)}$ ПМ виконуються нерівності $b_{ij}^{(u)} \leq \phi_{ij}^{(u)} - 1$, де $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, n}$;

– за умовою (3) кількість позицій, на яких забороняється поява одиниць дорівнює

$$\bar{w}_u = w_1 + \dots + w_\xi + \dots + w_{u-1} = \sum_{\xi=1}^{u-1} w_\xi.$$

Для позицій, на яких заборонена поява одиниць, величина бази дорівнює $\phi_{ij}^{(u)} = 1$, тобто виконується нерівність

$$b_{ij}^{(u)} \leq \phi_{ij}^{(u)} - 1 = 0. \quad (6)$$

Тому для ПМ можливі чотири типи позицій:

1) з обліком поліадичного простору $\phi_{ij}^{(u)} = 2$, а умова зв'язності дозволяє появу одиничного елемента $b_{ij}^{(u)} \in \{0; 1\}$. Тоді $\phi_{ij}^{(u, 3B)} = 2$;

2) відповідно до двійкового поліадичного простору $\phi_{ij}^{(u)} = 2$, але за умови зв'язності $b_{ij}^{(u)} = 0$. Значить значення підстави для такої позиції дорівнює $\phi_{ij}^{(u, 3B)} = 1$;

3) відповідно до обмежень на динамічний діапазон (вираз (2)) $\phi_{ij}^{(u)} = 1$, а за умовою зв'язності допускається поява одиниць $b_{ij}^{(u)} \in \{0; 1\}$. Не дивлячись на це, величина бази дорівнює $\phi_{ij}^{(u, 3B)} = 1$;

4) обмеження на динамічний діапазон за виразом (2) дорівнює $\phi_{ij}^{(u)} = 1$ й це ж значення бази задається за умовою зв'язності $b_{ij}^{(u)} = 0$. Звідки $\phi_{ij}^{(u, 3B)} = 1$.

З аналізу даних варіантів слідує, що значення бази в умовах виконання зв'язності у двійковому поліадичному просторі визначається як мінімальне із двох значень баз, тобто

$$\phi_{ij}^{(u, 3B)} = \min(\phi_{ij}^{(u)}, \phi_{ij}^{(u, 3B)}) + 1, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}, \quad (7)$$

де $\phi_{ij}^{(u)}$ – значення бази з врахуванням обмежень у двійковому поліадичному просторі; $\phi_{ij}^{(u, 3B)}$ – значення бази з врахуванням обмежень, що задаються умовою зв'язності ізотопних рівнів; $\phi_{ij}^{(u, 3B)}$ – величина бази з одночасним обліком зв'язності мультиізотопних рівнів у двійковому поліадичному просторі.

Тоді кількість $Q_{u/1, \dots, (u-1)}^{(\phi)}$ припустимих комбінацій, яку можна скласти для u -го ізотопного рівня архітектури дорівнює кількості перестановок з по-

втореннями, на значення елементів яких накладаються обмеження $\phi_{ij}^{(u, 3B)}$, знаходиться по формулі (7):

$$Q_{u/1, \dots, (u-1)}^{(\phi)} = \prod_{i=1}^m \prod_{j=1}^n \phi_{ij}^{(u, 3B)}. \quad (8)$$

За аналогією одержимо кількість припустимих комбінацій для $(U-1)$ -го рівня архітектури в умовах зв'язності у двійковому поліадичному просторі

$$Q_{U/1, \dots, (U-1)}^{(\phi)} = \prod_{i=1}^m \prod_{j=1}^n \phi_{ij}^{(U, 3B)}. \quad (9)$$

Кількість величин $\phi_{ij}^{(U, 3B)}$, рівних одиниці, визначається кількістю \bar{w}_U позицій із заборонаю появи одиничних елементів для U -го позиційного масиву $\bar{w}_U = w_1 + \dots + w_\xi + \dots + w_{U-1} = \sum_{\xi=1}^{U-1} w_\xi$, де $\sum_{\xi=1}^{U-1} w_\xi$ – сумарна кількість одиничних елементів у попередніх $(U-1)$ -м позиційних масивах.

Розглянемо подію $S(Q_{u/1, \dots, (u-1)}^{(\phi)})$, що складається в тому, що на u -м рівні архітектури рельєфу в умовах зв'язності (3) для двійкового поліадичного простору кількість припустимих позиційних масивів буде дорівнювати $Q_{u/1, \dots, (u-1)}^{(\phi)}$. З аналізу формули (8) величина $Q_{u/1, \dots, (u-1)}^{(\phi)}$ залежить від \bar{w}_u і від системи баз $\phi_{ij}^{(u)}$. В теж час події $S(\bar{w}_u)$, $u = \overline{1, U}$ є взаємозалежними, а побудова системи баз у двійковому поліадичному просторі не залежить від інших ПМ. Тому події $S(Q_{u/1, \dots, (u-1)}^{(\phi)})$, $u = \overline{1, U}$ є взаємозалежними

$$S(Q_{\xi/1, \dots, (\xi-1)}^{(\phi)}) \cap S(Q_{u/1, \dots, (u-1)}^{(\phi)}) = 0; \quad (10)$$

$$\xi, u = \overline{1, U}; \quad \xi \neq u.$$

Звідки подія $S(Q_1^{(\phi)}, \dots, Q_{U/1, \dots, (U-1)}^{(\phi)})$, що полягає в тому, що кількість припустимих ПМ на кожному рівні архітектури рельєфу будуть рівні відповідно $Q_1^{(\phi)}, \dots, Q_{U/1, \dots, (U-1)}^{(\phi)}$, наступить тоді коли одночасно наступлять події $S(Q_1^{(\phi)}), \dots, S(Q_{U/1, \dots, (U-1)}^{(\phi)})$. Кількість разів появи події $S(Q_1^{(\phi)}, \dots, Q_{U/1, \dots, (U-1)}^{(\phi)})$ визначається як кількість $Q_\phi^{(3B)}$ припустимих тривимірних двійкових структур, між горизонтальними перетинами яких у поліадичному просторі виконується умова зв'язності (3). Відповідно до умови теореми такі тривимірні двійкові структури представляють собою конкретну припустиму реалізацію архітектури рельєфу зображення. Звідки кількість припустимих горизонтальних перетинів у двійковому просторі для кожного рівня архітектури дорівнює $Q_{u/1, \dots, (u-1)}^{(\phi)}$, $u = \overline{1, U}$. Тоді з врахуванням умови (10) по комбінаторній теоремі множення величина $Q_\phi^{(3B)}$ дорівнює

$$Q_{\phi}^{(3B)} = \prod_{u=1}^U Q_{u/1, \dots, (u-1)}^{(\phi)} \quad (11)$$

З обліком співвідношення (8) для величини $Q_{u/1, \dots, (u-1)}^{(\phi)}$, вираження (11) прийме вид

$$Q_{\phi}^{(3B)} = \prod_{u=1}^U \prod_{i=1}^m \prod_{j=1}^n \phi_{ij}^{(u, 3B)} \quad (12)$$

Величина $\phi_{ij}^{(u, 3B)}$ відповідно до виразу (1) і (7) дорівнює

$$\phi_{ij}^{(u, 3B)} = \begin{cases} 1, \rightarrow (\phi_i^{(u)} \otimes \phi_j^{(u)}) \otimes r_{ij}^{(u)} = 0; \\ 2, \rightarrow (\phi_i^{(u)} \otimes \phi_j^{(u)}) \otimes r_{ij}^{(u)} = 1, \end{cases} \quad (13)$$

де $(\phi_i^{(u)} \otimes \phi_j^{(u)}) \otimes r_{ij}^{(u)}$ - векторний добуток величин $\phi_i^{(u)}$, $\phi_j^{(u)}$ і $r_{ij}^{(u)}$;

$r_{ij}^{(u)}$ - значення ознаки (i; j) -ї позиції u-го ізотопного рівня.

Величина $r_{ij}^{(u)}$ дорівнює нулю, якщо для попередніх рівнів архітектури на цій позиції перебував одиничний елемент. І навпаки $r_{ij}^{(u)}=1$ коли для попередніх рівнів на цій позиції перебували нульові елементи.

Тоді на основі системи (13) формула для величини $Q_{\phi}^{(3B)}$ прийме вид

$$Q_{\phi}^{(3B)} = \prod_{u=1}^U \prod_{i=1}^m \prod_{j=1}^n ((\phi_i^{(u)} \otimes \phi_j^{(u)}) \otimes r_{ij}^{(u)}).$$

Теорема доведена.

Визначення. U-зв'язною тривимірною перестановкою з повтореннями у двійковому поліадичному просторі називається тривимірна двійкова структура, горизонтальні перетини якої розглядаються як перестановки з повтореннями у двійковому просторі з одночасним обмеженням на число позицій, що визначаються на основі зв'язності рівнів архітектури й баз двійкового поліадичного простору.

Кількість таких комбінаторних об'єктів визначається за формулою (4).

Кількість $V_{\phi}^{(3B)}$ двійкових розрядів, що відводиться на подання позиційної інформації висот зображення, з врахуванням умови зв'язності рівнів архітектури рельєфу у двійковому поліадичному просторі, дорівнює

$$V_{\phi}^{(3B)} = \sum_{u=1}^U \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \log_2 \phi_{ij}^{(u, 3B)} \quad (14)$$

Різниці між кількістю двійкових розрядів для різних принципів позиціонування представлені такими виразами:

$$\begin{aligned} \Delta R_1^{(\phi)} &= V_n^{(a)} - V_{\phi}^{(3B)} = mn \log_2(mn) - \\ &- \sum_{u=1}^U \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \log_2 \phi_{ij}^{(u, 3B)}; \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \Delta R_2^{(\phi)} &= V_n^{(o)} - V_{\phi}^{(3B)} = v_{dc} \log_2 \ell_{max} - \\ &- \sum_{u=1}^U \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \log_2 \phi_{ij}^{(u, 3B)}; \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \Delta R_3^{(\phi)} &= V_n^{(apx)} - V_{\phi}^{(3B)} = Umn - \\ &- \sum_{u=1}^U \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \log_2 \phi_{ij}^{(u, 3B)}; \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \Delta R_4^{(\phi)} &= V_2^{(3B)} - V_{\phi}^{(3B)} = Umn - \sum_{\gamma=1}^{U-1} \sum_{\xi=1}^{\gamma} w_{\xi} - \\ &- \sum_{u=1}^U \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \log_2 \phi_{ij}^{(u, 3B)}, \end{aligned} \quad (18)$$

де $\Delta R_1^{(\phi)}$, $\Delta R_2^{(\phi)}$, $\Delta R_3^{(\phi)}$, $\Delta R_4^{(\phi)}$ - кількість розрядів між цифровим обсягом на зв'язне архітектурне позиціонування у двійковому поліадичному просторі та відповідно цифровими обсягами для: $V_n^{(a)}$ - абсолютним позиціонуванням (знаходиться по формулі $V_n^{(a)} = M \times N \log_2(M \times N)$), де M, N - відповідно, кількість рядків і стовпців у зображенні; $V_n^{(o)}$ - відносним позиціонуванням (обчислюється на основі виразу $V_n^{(o)} = v_{dc} \log_2 \ell_{max}$, де $\log_2 \ell_{max}$ - кількість розрядів, яка витрачається на представлення однієї довжини серії висот; ℓ_{max} - максимальна довжина серії висот у кадрі зображення.); $V_n^{(apx)}$ - архітектурним позиціонуванням без обліку зв'язності рівнів, що знаходиться по співвідношенню $V_n^{(apx)} = U V_n^{(u)} = Umn$; $V_2^{(3B)}$ - зв'язне архітектурне позиціонування $V_2^{(3B)} = Umn - \sum_{\gamma=1}^{U-1} \sum_{\xi=1}^{\gamma} w_{\xi}$.

Аналіз різниці, що задаються виразами (15) - (18), показує, що $\Delta R_4^{(\phi)} > 1$, тобто за рахунок переходу від зв'язного архітектурного позиціонування висот рельєфу до зв'язного архітектурного позиціонування у двійковому поліадичному просторі досягається зменшення кількості двійкових розрядів. Дане твердження базується на тім, що:

- кількість заборонених позицій входить у величину $Q_{\phi}^{(3B)}$ у вигляді ознак $r_{ij}^{(u)}$;

- виконується нерівність:

$$\log_2 \left(\prod_{u=1}^U \prod_{i=1}^m \prod_{j=1}^n \phi_{ij}^{(u)} \right) \leq Umn.$$

Крім того, звідси треба наступна частка обмеження для величини $Q_{\phi}^{(3B)}$, що виконується, якщо для всіх $\phi_{ij}^{(u)}=1$, значення ознаки ПМ дорівнює

$r_{ij}^{(u)}=1$:

$$Q_{\phi}^{(3B)} = \left(\prod_{u=1}^U \prod_{i=1}^m \prod_{j=1}^n \phi_{ij}^{(u)} \right) / \left(2^{\sum_{\gamma=1}^{U-1} \sum_{\xi=1}^{\gamma} w_{\xi}} \right),$$

де $\sum_{\gamma=1}^{U-1} \sum_{\xi=1}^{\gamma} w_{\xi}$ – накопичена по $(U-1)$ -му рівню архітектури кількість позицій, на яких забороняється поява одиниці.

У цьому випадку кількість $V_{\phi}^{(CB)}$ біт дорівнює

$$V_{\phi}^{(3B)} = \left(\sum_{u=1}^U \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \ell \log_2 \phi_{ij}^{(u,3B)} \right) - \sum_{\gamma=1}^{U-1} \sum_{\xi=1}^{\gamma} w_{\xi}. \quad (19)$$

Кількість надмірності, що усувається на основі архітектурного позиціонування висот мультиізотопного опису рельєфу зображення у двійковому поліадичному просторі, називається комбінаторною надмірністю, яка обумовлена одночасною заборонаю одиничних позицій у результаті накладення обмежень на динамічний діапазон елементів позиційних масивів (бази двійкового поліадичного простору); обліку умови зв'язності ізотопних рівнів архітектури рельєфу.

Висновок

1. Розроблена інформаційна модель архітектурного представлення мультиізотопного опису рельєфу зображення. Дана модель заснована на інтерпретації архітектури рельєфу у вигляді комбінаторного об'єкту - зв'язної тривимірної перестановки з повтореннями в двійковому двовимірному поліадичному просторі. Такий об'єкт формується на основі тривимірної двійкової структури, горизонтальні перетини яких розглядаються як перестановки з повтореннями в двовимірному поліадичному просторі з додатковим обмеженням на число позицій, на яких допускається поява одиничних елементів.

2. Створена модель дозволяє: – визначити максимальну та мінімальну кількість розрядів, яку потрібно витратити для взаємодозначного опису архітектурного позиціонування висот рельєфу зображення, залежно від динамічних діапазонів елементів позиціонування масивів і від характеру зв'яз-

ності ізотопних рівнів архітектури; – кількість комбінаторної надмірності, що усувається на основі архітектурного позиціонування висот мультиізотопного опису рельєфу зображення з врахуванням одночасного обліку обмежень на кількість позицій що допускають появу одиничних елементів та обмежень на динамічні діапазони елементів ПМ.

3. Обґрунтовано, що без врахування обмежень на динамічний діапазон елементів ПМ максимальне значення кількості надмірності, що усувається, досягається якщо у верхньому ізотопному рівні міститься найбільша кількість висот рельєфу. В цьому випадку максимальний ступінь стиску буде дорівнювати 8 разам. Мінімальна кількість надмірності скорочується тоді, коли максимальна кількість висот міститься в останньому ізотопному рівні, а в попередніх рівнях міститься мінімально допустима кількість висот.

Список літератури

1. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. – СПб.: Питер, 2006. – 958 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. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: Т. 1, 2. – М.: Мир, 1985. – 736 с.
4. Королев А.В., Баранник В.В. Метод сокращения избыточности изображений // Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2001. – №2. – С. 85-88.
5. Баранник В.В. Рельефное представление изображений пирамидальным кодированием // Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2001. – № 1. – С. 17-25.

Надійшла до редколегії 7.10.2008

Рецензент: д-р тех. наук, проф. В.І. Хаханов, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ИНФОРМАТИВНОСТИ МУЛЬТИИЗОТОПНОГО СВЯЗНОГО АРХИТЕКТУРНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ В ПОЛИАДИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ

В.В. Баранник, А.В. Слободянюк

Рассматриваются этапы построения информационной модели архитектурного представления мульти изотопного описания рельефа изображения. Показывается, что созданная модель позволяет определить: максимальное и минимальное количество разрядов, которое требуется затратить для взаимодозначного описания архитектурного позиционирования высот рельефа изображения; количество комбинаторной избыточности, устраняющееся на основе архитектурного позиционирования высот мульти изотопного описания рельефа изображения с учетом одновременного учета ограничений на количество позиций допускающих появления единичных элементов и ограничений на динамические диапазоны элементов ПМ. Обосновывается, что минимальное количество избыточности устраняется тогда, когда максимальное количество высот содержится в последнем изотопном уровне, а в предыдущих уровнях содержится минимально допустимое количество высот.

Ключевые слова: рельефное представление изображений, архитектурное позиционирование, информативность.

MODEL OF ESTIMATION OF INFOMATIVNOSTI MULTI ISOTOPIC LIAISON OF ARCHITECTURAL PRESENTATION IN POLIADICHESKOM SPACE

V.V. Barannik, A.V. Slobodyanyuk

The stages of construction of informative model of architectural presentation are examined multi isotopic description of relief of image. Shown, that the created model allows to define: maximal and minimum amount of digits, which requires to be expended for synonymous description of the architectural keeping of heights of relief of image; amount of combinatory surplus, removed on the basis of the architectural keeping of heights multi isotopic description of relief of image taking into account the simultaneous account of limits on the amount of positions assuming appearance of single elements and limits on the dynamic ranges of elements of PM. Grounded, that the least of surplus is removed then, when the maximal amount of heights is contained in the last isotopic level, and there is minimum a possible amount of heights in previous levels.

Keywords: relief presentation of images, architectural keeping, informing.