

УДК 621.327

МЕТОД КОМПОЗИЦІЇ ПЕРФОРОВАНИХ НЕРІВНОВАЖНИХ ЧИСЕЛ

В. В. Бараннік, д-р техн. наук, проф.; **Н. Ф. Сидоренко**, канд. техн. наук, доц.;
В. В. Шинкарьов

Національний авіаційний університет

e-mail:kszi@ukr/net

Запропоновано основні етапи розроблення методу композиційної збірки нерівноважних перфорованих позиційних чисел на основі масивів нижнього діапазонного і верхнього диференційованого діапазонного рівнів. Побудовано диференціальний опис масивів верхнього перфорованого рівня, що враховує наявність однорідної структури динамічних діапазонів перепадів на межі контура і основного фону зображення. Показано, що композиційні перфоровані числа порівняно з нерівноважними позиційними числами мають властивості для потенційного підвищення ступеня стиснення.

Ключові слова: нерівноважні перфоровані позиційні числа, диференціальний опис, динамічний діапазон, ступінь стиснення.

The ground and basic design times of the composition method assembling of the non-equilibrium perforated positions numbers is expounded on the basis of lower range arrays and overhead differentiated range levels. Differential arrays of top perforation level declaration taking into account the presence of homogeneous structure of overfalls dynamic ranges on the scopes of contour and basic background of image is built. It is shown, that the composition perforated numbers in a difference from non-equilibrium positions numbers possess properties for the potential increase of compression degree.

Keywords: non-equilibrium perforated positions numbers, differential description, dynamic range degree of compression.

Вступ

Відповідно до сучасних потреб суспільства актуальна **мета науково-прикладної тематики досліджень** у процесі розроблення і вдосконалення інформаційних систем полягає в забезпеченні скорочення об'ємів потоку, відеоінформації, в умовах обмеженого тимчасового ресурсу [1; 2].

У працях [3–5] обґрунтовано необхідність формування перфорованих нерівноважних позиційних чисел для диференціального представлення зображень.

Це дає змогу: виявити закономірності перфорованості динамічних діапазонів диференціального представлення насичених дрібними деталями зображення; забезпечити можливості для додаткового скорочення надмірності диференціально представлених зображень у разі нестаціонарних структурних властивостей.

Суть формування перфорованих нерівноважних чисел полягає в тому, що для масивів диференціального уявлення, що розглядаються як нерівноважні позиційні числа, існують такі елементи, видалення яких приводить до значного скорочення динамічного діапазону, елементів, що залишилися. Тоді формуються два масиви

$H \rightarrow \{H^{(0)}; H^{(1)}\}$. Перший масив $H^{(1)}$ містить елементи верхнього перфорованого рівня. Відповідно елементам другого масиву $H^{(0)}$ відповідає нижній перфорований рівень.

Для реалізації потенційних можливостей щодо підвищення ступеня стиснення без втрати якості зображень необхідно розробити метод компресії.

Необхідно враховувати структурні особливості зображень, а саме наявність: кореляції між сусідніми елементами зображення; когерентності елементів в стовпцях фрагментів зображення; обмеженої кількості різких перепадів для фрагментів зображень; обмеженого значення і нерівномірності динамічних діапазонів перепаду між сусідніми елементами зображення; обмеженої кількості перепадів тих, що мають високі динамічні діапазони. Це означає, що метод стиснення повинен бути комплексним, тобто процес оброблення міститиме в собі декілька етапів. Важливий етап оброблення диференційованих зображень полягає в побудові композиційного представлення масивів перфорованих рівнів.

Отже, **науковим завданням** є обґрунтування і розроблення методу композиційного опису

перфорованих нерівноважних позиційних чисел для підвищення ефективності процесу кодування.

Розроблення технологічного процесу побудови структурно-диференціального опису зображень. Побудова нерівноважних позиційних чисел

Даний етап включає формування динамічних діапазонів для елементів масивів диференціального представлення (МДП) $d_{k\ell} = \min(d_k, d_\ell)$, $k = \overline{1, m}$; $\ell = \overline{1, n}$; $h'_{k\ell} \leq d_{k\ell} - 1$. У результаті утворюється нерівноважне позиційне число (НПЧ), для елементів якого існують обмеження на динамічний діапазон $\{d_{1\ell}, \dots, d_{k\ell}, \dots, d_{m\ell}\}$. Це першочерговий етап для організації побудови перфорованих чисел.

Створення перфорованого нерівноважного позиційного уявлення здійснюється на базі масивів диференціального уявлення. Розподіл елементів НПЧ по масивах перфоруємих рівнів здійснюється для відомого порогового значення $K(h')_{\text{пор}}$ на основі такого правила:

– якщо для динамічного діапазону елементу НПЧ виконується нерівність:

$$d_{k\ell} \leq K(h')_{\text{пор}}, \quad (1)$$

то елемент $h'_{k\ell}$ відноситься до області нижнього перфорованого рівня $h'_{k\ell} \in H^{(0)}$;

– якщо виконується нерівність $d_{k\ell} > K(h')_{\text{пор}}$, тоді елемент $h'_{k\ell}$ належить масиву верхнього перфорованого рівня $h'_{k\ell} \in H^{(1)}$.

Елементи масивів нижнього $h_{k\ell}^{(1)}$ та верхнього $h_{k\ell}^{(2)}$ перфорованих рівнів можуть знаходитися на різних позиціях в масиві диференціального уявлення. Тому на черговому етапі оброблення необхідно з відібраних елементів сформувати якнайповніші масиви для спрощення процесу кодування. Формування масивів елементів нижнього і верхнього перфорованих рівнів пропонується проводити з урахуванням того, що: масиви заповнюються у напрямі рядків, а в разі заповнення неповного рядка елементом з іншого рядка, що має більший діапазон, необхідно перерахувати діапазони для елементів усього рядка.

Утворення масивів перфорованих рівнів проводиться на основі таких процедур:

1) відбираються елементи нижнього рівня, які відповідають умові (1). Бракуючі елементи заповнюються нульовими значеннями. На позиції, відповідній відібраному елементу, ставиться нульове значення.

2) будується масив другого рівня, який полягає в заміні нульових значень сусідніми елементами або елементами сусідніх рядків.

Якщо виконується нерівність (1), то елемент $h'_{k\ell}$, що стоїть на позиції з координатами $(k; \ell)$ у масиві H відноситься до масиву $H^{(0)}$. Заповнення масиву $H^{(0)}$ здійснюється по рядках. Довжина рядка збігається з рядками масиву H та дорівнює n .

Значення координат $(\xi; \gamma)$ з урахуванням відомої кількості елементів $v(H_{k\ell}^{(0)})$, що належать масиву $H^{(0)}$ на момент початку розподілу $(k; \ell)$ -му елементу масиву H , знаходяться на основі таких виразів:

– коли кількість елементів $v(H_{k\ell}^{(0)})$ менше, ніж кількість n елементів у рядку масиву $H^{(0)}$, тобто $v(H_{k\ell}^{(0)}) < n$, то $\xi = 1$, а $\gamma = v(H_{k\ell}^{(0)}) + 1$;

– у разі, коли виконується рівність $v(H_{k\ell}^{(0)}) = n$, то $\xi = 2$, а $\gamma = 1$;

– якщо довжина рядка масиву $H^{(0)}$ перевищує кількість елементів масиву $H^{(0)}$, тобто

$$v(H_{k\ell}^{(0)}) > n, \text{ то } \xi = \left\lceil \frac{v(H_{k\ell}^{(0)})}{n} \right\rceil + 1;$$

$$\gamma = v(H_{k\ell}^{(0)}) - \left(\left\lceil \frac{v(H_{k\ell}^{(0)})}{n} \right\rceil n \right) + 1.$$

Побудова масиву $H^{(1)}$ з елементів $h'_{k\ell}$, для динамічних діапазонів яких не виконується умова (1) організовується на основі елементів масиву, що залишилися H . Масив $H^{(1)}$ верхнього перфорованого рівня утворюється шляхом заповнення позиції масиву H , на якій розміщується елемент, що належить масиву $H^{(0)}$. У цьому випадку для перерахунку координат елементів масиву H у координати елементів масиву $H^{(1)}$ використовується правило.

Якщо динамічний діапазон $d_{k\ell}$ елементу з координатами $(k; \ell)$ задовольняє нерівності (1), то координати чергового елементу $h_{k, \ell+1}$ (якщо $\ell+1 \leq n$) або $h_{k+1, 1}$ (якщо $\ell+1 > n$) масиву H будуть дорівнювати $\xi = k$; $\gamma = \ell$. Формат масиву H , після вибірки з нього елементів у масив $H^{(0)}$ є вмістом масиву $H^{(1)}$.

У результаті виконання даного етапу забезпечується:

– розподіл позицій у нерівноважному позиційному числі H на масиві $H^{(0)}$ та $H^{(1)}$ значень

елементів нижнього і верхнього перфорованих рівнів відповідно;

– розбиття масиву $D(h')$, що складається зі значень обмежень на динамічний діапазон $d_{\xi\gamma}$, на масиви $D(h')^{(0)}$ та $D(h')^{(1)}$ відповідно.

Особливість масиву $H^{(1)}$ верхнього діапазонного рівня полягає в тому, що він містить елементи, які мають найбільші динамічні діапазони. Це є причиною збільшення значення коду-номера. Причому характер такої залежності близький до експоненціального.

У результаті аналізу можна визначити, що:

– залежність кількості інформації від довжини НПЧ близька до експоненціальної залежності;

– із зростанням динамічного діапазону кількість мінімальної потенційної S_{\min} надмірності також зменшується по експоненті аж до нульового значення.

Для усунення цього недоліку пропонується використовувати особливість елементів масивів $H^{(1)}$, а саме:

– масив верхнього діапазонного рівня перфорованого уявлення містить елементи, що дорівнюють значенням перепадів на межі контура і основного фону фрагмента зображення;

– динамічний діапазон перепаду на межі контура і основного фону фрагмента зображення має однорідну структуру.

Ці особливості дозволяють перейти до диференціального опису масивів верхнього перфораційного рівня. Суть диференціального представлення масивів верхнього діапазонного рівня полягає в тому, що вони розглядаються як двовимірні позиційні числа в різницево-нерівноважному просторі. Тоді елементами диференціального нерівноважного позиційного числа є довжини відстаней від нього до двовимірного НП числа, що має мінімальні значення елементів, тобто відповідні нижньому рівню різницевого нерівноважного простору.

Код-номер масиву $H^{(1)}$ визначатиметься щодо коду-номера НПЧ, відповідного мінімальному рівню диференціального нерівноважного простору. Значення коду-номера двовимірного диференціального НПЧ залежатиме від кількості нерівноважних чисел, що задовольняють обмеженням диференціального нерівноважного простору. Кількість таких чисел визначається як довжина R відстані від числа, відповідного мінімальному рівню до поточного числа в двовимірному диференціальному нерівноважному просторі.

Мінімальний рівень диференціального нерівноважного простору (ДНП) пропонується формувати з урахуванням виявлення мінімальних

значень у кожному рядку масиву верхнього перфораційного рівня. Формується вектор мінімальних значень у рядках $M = \{\mu_1, \dots, \mu_m\}$:

$$\mu_i = \min_{1 \leq j \leq n} \{h_{ij}^{(1)}\}, \quad i = \overline{1, m}, \quad \text{де } \mu_i \text{ — мінімальне значення в } i\text{-му рядку масиву } H^{(1)}.$$

Виявлення мінімальних значень у кожному рядку дозволяє врахувати особливості динамічних діапазонів на межах об'єктів зображення. Тоді двовимірний диференціальний нерівноважний простір задається вектором S обмежень на динамічний діапазон значень довжин відстаней:

$$S = \{s_{1j}, \dots, s_{nj}\}; \quad s_{ij} = d_{ij}^{(1)} - \mu_i; \quad (2)$$

$$\mu_i \leq h_{ij}^{(1)} \leq d_{ij}^{(1)} - 1, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n^{(1)}}, \quad (3)$$

де s_{ij} — різниця між максимальним $d_{ij}^{(1)}$ і мінімальним μ_i значеннями в i -му рядку масиву $H^{(1)}$ верхнього перфорованого рівня; $n^{(1)}$ — кількість стовпців у масиві $H^{(1)}$.

Нижній рівень $M^{(2)}$ двовимірного диференціального простору визначається на основі значень вектора $M = \{\mu_1, \dots, \mu_m\}$ і є нерівноважним позиційним числом, елементи якого задовольняють обмеженням на динамічний діапазон верхнього перфорованого рівня. З урахуванням обмежень (2) і (3) значення коду-номера як довжини відстані R між поточним масивом $H^{(1)}$ і нижнім рівнем $M^{(2)}$ двовимірного ДНП визначається за формулою:

$$R = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n^{(1)}} (h_{ij}^{(1)} - \mu_i) \prod_{\xi=j+1}^{n^{(1)}} s_{i\xi} \prod_{\gamma=i+1}^m \prod_{\xi=1}^{n^{(1)}} s_{\gamma\xi},$$

де $(h_{ij}^{(1)} - \mu_i) = \bar{h}_{ij}^{(1)}$ — величина різниці між значеннями елементів поточного масиву і нижнього рівня двовимірного ДНП, розташованих на позиції (i, j) .

Покажемо, що розгляд масиву $H^{(1)}$ у двовимірному диференціальному просторі дає змогу скоротити значення його коду-номера щодо початкового випадку. Для цього покажемо, що між кодом-номером R як довжини відстані в ДНП і початковому код-номері $N^{(1)}$ виконується нерівність:

$$R \leq N^{(1)}. \quad (4)$$

Розпишемо співвідношення (3) з урахуванням формули (2), і одержимо

$$R = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n^{(1)}} (h_{ij}^{(1)} - \mu_i) \prod_{\xi=j+1}^{n^{(1)}} (d_{i\xi}^{(1)} - \mu_i) \times \prod_{\gamma=i+1}^m \prod_{\xi=1}^{n^{(1)}} (d_{\gamma\xi}^{(1)} - \mu_\gamma), \quad (5)$$

Оскільки виконуються нерівності:

$$(h_{ij}^{(1)} - \mu_i) \leq h_{ij}^{(1)};$$

$$\prod_{\xi=j+1}^{n^{(1)}} (d_{i\xi}^{(1)} - \mu_i) \prod_{\gamma=i+1}^m \prod_{\xi=1}^m (d_{\gamma\xi}^{(1)} - \mu_\gamma) \leq$$

$$\leq \prod_{\xi=j+1}^{n^{(1)}} d_{i\xi}^{(1)} \prod_{\gamma=i+1}^m \prod_{\xi=1}^m d_{\gamma\xi}^{(1)},$$

то одержуємо нерівність (4).

Покажемо тепер, що код-номер нерівноважного позиційного числа в диференціальному просторі, визначуваний як довжина відносно відстані буде менша, ніж різниця між кодом-номером нерівноважного числа і кодом номером нижнього рівня в початковому перфорованому просторі, тобто

$$R \leq N^{(1)} - N_{\min}^{(1)}. \quad (6)$$

де $N_{\min}^{(1)}$ – значення коду-номера НПЧ $M^{(2)}$, двовимірного диференціального нерівноважного простору, що є нижнім рівнем

$$N_{\min}^{(1)} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n^{(1)}} \mu_i \prod_{\xi=j+1}^{n^{(1)}} d_{i\xi}^{(1)} \prod_{\gamma=i+1}^m \prod_{\xi=1}^m d_{\gamma\xi}^{(1)}.$$

Розпишемо ліву частину нерівності (6), і одержимо:

$$N^{(1)} - N_{\min}^{(1)} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n^{(1)}} h_{ij}^{(1)} \prod_{\xi=j+1}^{n^{(1)}} d_{i\xi}^{(1)} \prod_{\gamma=i+1}^m \prod_{\xi=1}^m d_{\gamma\xi}^{(1)} -$$

$$- \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n^{(1)}} \mu_i \prod_{\xi=j+1}^{n^{(1)}} d_{i\xi}^{(1)} \prod_{\gamma=i+1}^m \prod_{\xi=1}^m d_{\gamma\xi}^{(1)} =$$

$$= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n^{(1)}} (h_{ij}^{(1)} - \mu_i) \prod_{\xi=j+1}^{n^{(1)}} d_{i\xi}^{(1)} \prod_{\gamma=i+1}^m \prod_{\xi=1}^m d_{\gamma\xi}^{(1)}. \quad (7)$$

Порівнявши праві частини співвідношень (5) і (7), одержимо нерівність (6).

Виконання нерівності (6) дозволяє зробити висновки щодо того, що представлення масиву елементів верхнього перфораційного рівня в диференціальному нерівноважному позиційному просторі забезпечує додаткове скорочення комбінаторної надмірності, обумовленої: зниженням динамічного діапазону елементів верхнього перфораційного рівня за рахунок виявлення мінімальних значень; скороченням кількості нерівноважних позиційних чисел, передуючих поточному НПЧ, але що не задовольняють умови диференціального простору.

Таким чином, побудовано представлення масивів верхнього перфораційного рівня в диференціальному нерівноважному просторі. Забезпечується підвищення можливостей щодо скорочення комбінаторної надмірності.

Висновки

1. Розроблено метод композиційної збірки нерівноважних перфорованих позиційних чисел на основі масивів нижнього діапазонного і верхнього диференційованого діапазонного рівнів.

2. Побудовано диференціальний опис масивів верхнього перфораційного рівня, що враховує таку особливість, як наявність однорідної структури динамічних діапазонів перепадів на межі контура і основного фону зображення. В цьому випадку масиви верхнього діапазонного рівня розглядаються як двовимірні позиційні числа в різницево-нерівноважному просторі. Елементами диференціального нерівноважного позиційного числа є довжини відстаней від нього до двовимірного НП числа, що має мінімальні значення елементів, тобто відповідні нижньому рівню різницево-нерівноважного простору.

3. Обґрунтовано, що композиційні перфоровані числа у відмінності від нерівноважних позиційних чисел володіють наступними властивостями для потенційного підвищення ступеня стиснення:

1) скорочений динамічний діапазон для елементів верхнього перфорованого рівня, що описують значущі перепади в зображеннях;

2) кількість додаткової службової інформації про мінімальні значення визначається тільки для рядків масиву верхнього перфорованого рівня, і може дорівнювати одній величині;

3) для визначення перфорованого порогу не використовується додаткова службова інформація.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Gonzales R. C.* Digital image processing / R. C. Gonzales, R.E. Woods. — Prentice Inc. Upper Saddle River, New Jersey 2002. — 779 p.
2. *Wallace G. K.* The JPEG Still Picture Compression Standard // Communication in ACM. — 1991. — V. 34. — № 4. — P. 31. — 34.
3. *Баранник В. В.* Структурно-комбінаторное представление данных в АСУ / В. В. Баранник, Ю. В. Стасев, Н. А. Королева. — Монография, Харьков : ХУПС, 2009. — 252 с.
4. *Красноруцкий А. А.* Дифференциальное кодирование низкочастотных составляющих // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи / А. А. Красноруцкий. — 2007. — № 3 (22). — С. 19–22.
5. *Шинкарев В. В.* Методология формирования технологии компрессии дифференцированных изображений // Сучасна спеціальна техніка / В. В. Шинкарев. — 2009. — № 4. — С. 45–54.