

УДК 621.327:681.5

В.В. Баранник<sup>1</sup>, С.О. Сідченко<sup>1</sup>, В.П. Поляков<sup>2</sup><sup>1</sup>Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків<sup>2</sup>Українська державна академія залізничного транспорту, Харків

## ЧАСТОТНО-СПЕКТРАЛЬНЕ МУЛЬТІАДИЧНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ВІДЕОДАНИХ ЗІ ЗНИЖЕНИМ ДИНАМІЧНИМ ДІАПАЗОНОМ

Розробляється метод частотно-спектрального мультіадичного представлення даних зі зниженим динамічним діапазоном. Він забезпечує: зниження значення середньоквадратичного показника погрішності і підвищення візуальної якості відновлених зображень; додаткове зниження часу обробки (скорочується кількість масивів, що обробляються, за рахунок збільшення їхньої розмірності).

**Ключові слова:** дискретне косинусне перетворення, мультіадичні коди, цифрова обробка зображень, частотно-спектральне мультіадичне представлення.

### Вступ

**Постановка проблеми.** У [1, 2] авторами запропоновано метод цифрової обробки зображень (ЦОЗ), що засновано на формуванні частотно-спектрального мультіадичного (ЧСМ) представлення даних, який організовано на основі дискретного косинусного перетворення (ДКП) масивів мультіадичних кодів.

Даний метод дозволяє скоротити час обробки зображень. Однак, йому властивий недолік, пов'язаний з тим, що для підвищення якості відновлення зображень потрібно забезпечити рівень значення відносини сигнал/шум не нижче 35 – 40 дБ.

Тому **актуальною науковою задачею** є мінімізація середньоквадратичного показника погрішності (СКПП) для відновлених зображень.

**Метою статті** є розробка методу ЧСМ-представлення відеоданих, що забезпечує зниження СКПП для відновлених зображень.

### Виклад основного матеріалу

Для зниження величини СКПП, зменшення кількості помилок і їхнього абсолютного значення пропонується організувати нерівномірне зниження динамічних діапазонів по рядках масивів відеоданих. Це дозволить:

1) обмежити (локалізувати) розмноження помилок) серію помилок, аж до одного елемента;

2) знизити абсолютне значення помилки в останньому елементі відновлюваного стовпця;

3) знизити кількість мультіадичних кодів за рахунок збільшення кількості елементів (довжини стовпця  $m_m$  масиву відеоданих), для яких вони формуються. Це приводить до того, що:

– скорочується кількість елементів, що беруть участь у якості операндів дійсних операцій;

– оскільки серія помилок обмежена, то підвищується кількість елементів, на які не поширюється

процес розмноження перекручувань.

Нерівномірне зниження динамічного діапазону дозволяє скоротити можливість появи серії елементів, які розташовані в одному стовпці масиву відеоданих та що відрізняються від величини динамічного діапазону на 1. Зниження динамічних діапазонів елементів  $a_{ij}^{(\xi, \theta, \psi)}$  зображення в рядках масиву задається виразом

$$u_{ij}^{(\xi, \theta, \psi)} = a_{ij}^{(\xi, \theta, \psi)} - z_i^{(\xi, \theta, \psi)}, \quad i = \overline{1, m_m}, \quad (1)$$

де  $u_{ij}^{(\xi, \theta, \psi)}$  –  $i$ -й елемент  $j$ -го стовпця  $\xi$ -го масиву відеоданих зі зниженим динамічним діапазоном, що належить  $\theta$ -му сектору  $\psi$ -й лінійки кадру;

$z_i^{(\xi, \theta, \psi)}$  – мінімальне значення в  $i$ -му рядку  $\xi$ -го масиву відеоданих, що рівне

$$z_i^{(\xi, \theta, \psi)} = \min_{1 \leq j \leq n} (a_{ij}^{(\xi, \theta, \psi)}). \quad (2)$$

У цьому випадку нерівномірність зменшення діапазону забезпечується за рахунок нерівномірності розподілу значень елементів зображення в масиві.

Мультіадичне представлення для нерівномірного зниження динамічного діапазону даних організується на основі наступних етапів.

1. Формується вектор  $P$  обмежень на динамічний діапазон з урахуванням його зменшення

$$p_i^{(\xi, \theta, \psi)} = r_i^{(\xi, \theta, \psi)} - z_i^{(\xi, \theta, \psi)}; \quad (3)$$

$$P = \{p_1^{(\xi, \theta, \psi)}, \dots, p_i^{(\xi, \theta, \psi)}, \dots, p_{m_m}^{(\xi, \theta, \psi)}\},$$

де  $p_i^{(\xi, \theta, \psi)}$  – величина динамічного діапазону елементів у  $i$ -му рядку після вирахування мінімального значення.

2. Обчислюються вагові коефіцієнти  $H_i^{(\xi, \theta, \psi)}$  для елементів  $i$ -го рядку  $\xi$ -го масиву відеоданих,  $i = \overline{1, m_m}$ :

$$H_i^{(\xi, \theta, \psi)} = \prod_{k=i+1}^{m_M} p_k^{(\xi, \theta, \psi)} = \prod_{k=i+1}^{m_M} (r_k^{(\xi, \theta, \psi)} - z_k^{(\xi, \theta, \psi)}),$$

$$i = \overline{1, m_M}. \quad (4)$$

3. Обчислення значення мультіадичного коду  $D(\xi, \theta, \psi)_j$  для  $j$ -го стовпця  $\xi$ -го масиву, що належить  $\theta$ -му сектору  $\psi$ -ої лінійки:

$$D(\xi, \theta, \psi)_j = \sum_{i=1}^{m_M} u_{ij}^{(\xi, \theta, \psi)} H_i^{(\xi, \theta, \psi)}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (5)$$

З урахуванням співвідношень (1), (3) і (4) вираження (5) прийме вигляд

$$D(\xi, \theta, \psi)_j = \sum_{i=1}^{m_M} \left\langle a_{ij}^{(\xi, \theta, \psi)} - z_i^{(\xi, \theta, \psi)} \right\rangle \times \prod_{k=i+1}^{m_M} \left\langle r_k^{(\xi, \theta, \psi)} - z_k^{(\xi, \theta, \psi)} \right\rangle, \quad j = \overline{1, n}. \quad (6)$$

З аналізу формули (6) випливає:

– максимальне можливе значення помилки  $e_{ij}$  при відновленні елемента зображення знижується на величину  $z_i^{(\xi, \theta, \psi)} = \min_{1 \leq j \leq n} (a_{ij}^{(\xi, \theta, \psi)})$ . Отже, чим більше мінімальне значення, тим більше підвищується ступінь локалізації величини помилки;

– у загальному випадку виконується нерівність  $z_{\xi}^{(\xi, \theta, \psi)} \neq z_{\eta}^{(\xi, \theta, \psi)}$ , для  $\xi \neq \eta$  і  $\xi, \eta = \overline{1, m_M}$ . (7)

Тоді виконується умова нерівномірності видалення елементів стовпця від величини динамічного діапазону

$$(p_{\xi}^{(\xi, \theta, \psi)} - u_{\xi j}^{(\xi, \theta, \psi)}) \neq (p_{\eta}^{(\xi, \theta, \psi)} - u_{\eta j}^{(\xi, \theta, \psi)}),$$

$$\text{для } \xi \neq \eta \text{ і } \xi, \eta = \overline{1, m_M}. \quad (8)$$

Це забезпечує зниження кількості і довжини серії, що складається з помилково відновлених елементів.

Проведемо оцінку характеристик ЧСМ-представлення зображень зі зниженням динамічного діапазону. Порівняльна оцінка часу обробки зображень приведена для спеціалізованих систем Intel Pentium IV у табл. 1 (при  $n \times n = 8 \times 8$ ).

Порівняльний аналіз даних у табл. 1 показує, що час обробки для ЧСМ-представлення зображень зі зниженням динамічного діапазону зменшується в середньому на 17 % щодо ЧСМ-представлення вихідних відеоданих. Це забезпечується можливістю збільшити кількість елементів, для яких формується мультіадичний код. При цьому скорочується кількість масивів мультіадичних кодів, для яких виконується ДКП.

Збільшення довжини стовпця  $m_M$  на 1 елемент приводить до додаткового зниження кількості операцій у середньому на 15 %. У цьому випадку величина  $\Delta\mu$  додаткового зниження кількості операцій (виражена в %) оцінюється за формулою

Таблиця 1

Залежність величини  $t$  (с) від  $L_{\text{стр}} \times L_{\text{стлб}}$  і  $m_M \times n$

$L_{\text{стр}} \times L_{\text{стлб}}$	$m_M \times n$	
	4x4	6x6
800x600	0,006852	0,005245
1024x768	0,011	0,008594
1600x1200	0,027	0,021
2048x1536	0,045	0,034
5120x5120	0,374	0,286
9420x9420	1,267	0,97

$$\Delta\mu = 100\% - \left( \frac{m_M}{m_M + \Delta} \right) 100\%, \quad (9)$$

де  $\Delta$  – величина, на яку збільшується кількість елементів у стовпці масиву відеоданих.

Для оцінки величини СКПП побудуємо графіки її залежності від розмірів масивів  $m_M$  для різних технологій представлення даних і етапів ЦОЗ (рис. 1), де:

–  $\delta_{\text{ДКП}}$  – значення СКПП, коли ДКП виконується для вихідних відеоданих;

–  $\delta_{\text{МК}}^{(\text{max})}$  – значення СКПП на етапі відновлення мультіадичних кодів (виконання зворотного ДКП);

–  $\delta_{\text{МВ}}^{(\text{max})}$  – значення СКПП на етапі відновлення елементів зображення (декодування мультіадичних кодів);

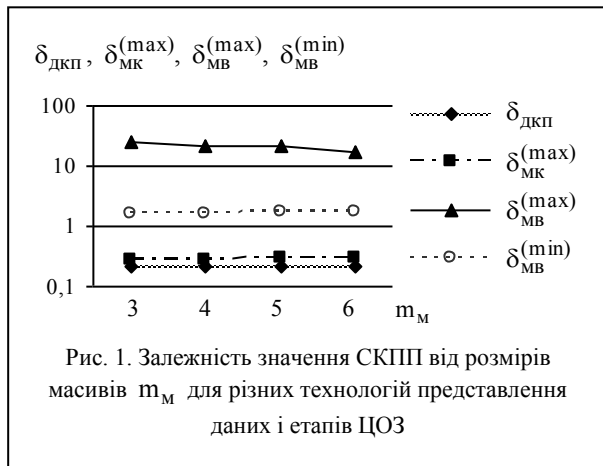
–  $\delta_{\text{МВ}}^{(\text{min})}$  – значення СКПП на етапі відновлення елементів зображення (декодування мультіадичних кодів зі зниженим динамічним діапазоном).

Аналіз графіків на рис. 1 показує, що значення СКПП при фіксованих розмірах оброблюваних масивів для мультіадичного представлення зі зниженим динамічним діапазоном скорочується в 3 – 17 разів у залежності від ступеня насиченості зображень відносно мультіадичного представлення відеоданих з вихідним діапазоном. Значення величини СКПП приймає значення 1,5 – 2,8 рівнів квантування.

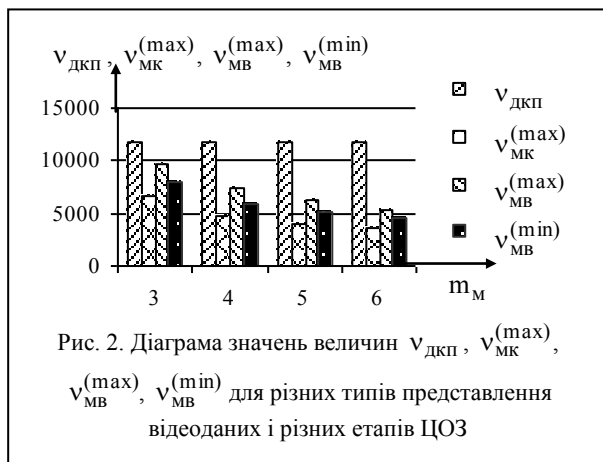
Значить, мультіадичне представлення даних з нерівномірно зменшеним динамічним діапазоном забезпечує додаткове зниження часу обробки зображень і зменшення величини середньоквадратичного показника погрішності відновлення.

У той же час значення СКПП для ЧСМ-представлення зі зменшеним діапазоном значень перевищує величину СКПП для випадку, коли не проводиться мультіадичне представлення (рис. 1).

Для виявлення напрямків подальшого зменшення величини СКПП проведемо аналіз характеристик процесу поширення помилок округлення (обчислювальних помилок). Для цього побудуємо діаграми залежності кількості помилок від типів представлення відеоданих (рис. 2), де:



- $v_{\text{ДКП}}$  – кількість елементів зображення, що відновлені з помилкою для варіанта, коли мультіадичне представлення не використовується;
- $v_{\text{МК}}^{(\text{max})}$  – кількість мультіадичних кодів, що відновлені з помилкою після зворотного ДКП;
- $v_{\text{МВ}}^{(\text{max})}$  – кількість елементів зображення, що відновлені з помилкою після мультіадичного декодування;
- $v_{\text{МВ}}^{(\text{min})}$  – кількість елементів зображення, що відновлені з помилкою після мультіадичного декодування елементів зображення з зменшеним динамічним діапазоном.



Аналіз діаграм на рис. 2 показує, що кількість перекручених елементів для ЧСМ-представлення зі знизеним динамічним діапазоном менше в середньому на 20 %, чим для ЧСМ-представлення вихідних відеоданих. При цьому кількість елементів відновлених з помилкою для ЧСМ-представлення зі знизеним динамічним діапазоном скорочується в 1,7 рази при збільшенні розмірності мультіадичного представлення. Звідси випливає, що підсилюється ступінь локалізації кількості перекручених елементів зображення.

Значить збільшення величини СКПП викликає великим абсолютним значенням величини відхилення відновлених елементів щодо вихідних елементів.

Тому проведемо оцінку розподілу кількості помилок у залежності від їх абсолютних значень для різних типів представлення відеоданих і різних етапів ЦОЗ (табл. 2).

Таблиця 2

Залежність величин  $v_{\text{ДКП}}$ ,  $v_{\text{МК}}^{(\text{max})}$ ,  $v_{\text{МВ}}^{(\text{max})}$ ,  $v_{\text{МВ}}^{(\text{min})}$  від  $|e|$  і  $|\varepsilon|$  для різних типів представлення відеоданих і різних етапів ЦОЗ

Величина	Абсолютне значення $ e $ і $ \varepsilon $ помилки					
	1	2	3	4	5	>5
$v_{\text{ДКП}}$	11828	8	0	0	0	0
$v_{\text{МК}}^{(\text{max})}$	3575	0	0	0	0	0
$v_{\text{МВ}}^{(\text{max})}$	3366	0	0	0	0	1938
$v_{\text{МВ}}^{(\text{min})}$	3222	310	171	128	104	587

З аналізу табл. 2 випливає, що:

- максимальні значення  $v_{\text{МК}}^{(\text{min})}$  помилок для відновлених мультіадичних кодів у випадку ЧСМ-представлення зі знизеним динамічним діапазоном рівні 1;

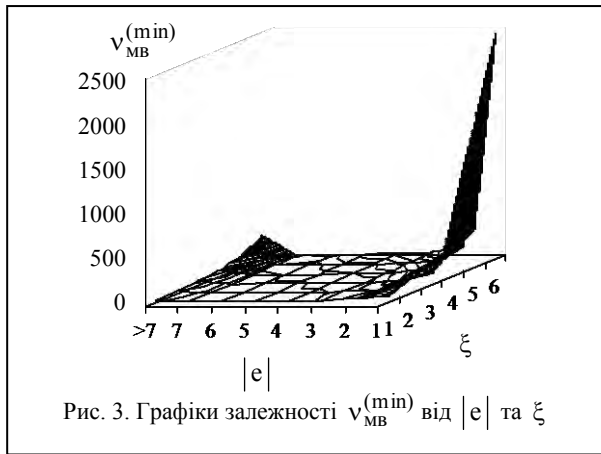
- максимальна кількість помилок для ЧСМ-представлення зі знизеним динамічним діапазоном приходить на абсолютну величину помилки, рівну 1 (зберігається експонентна залежність);

- с одного боку кількість помилок, що мають максимальні значення для ЧСМ-представлення зі знизеним динамічним діапазоном зменшується в 4,5 рази щодо кількості помилок з максимальними значеннями для ЧСМ-представлення вихідних відеоданих. З іншого боку: максимальне значення помилки для відновлених зображень досягає величини, рівної знизеному динамічному діапазону; для відновлених елементів спостерігається ефект появи помилок, що приймають значення в області мінімальних і середніх величин знизеного динамічного діапазону відеоданих.

Це є основною причиною щодо великих значень СКПП.

Щоб провести локалізацію помилок з великими абсолютними значеннями необхідно виявити характер поширення помилок для ЧСМ-представлення зі знизеним динамічним діапазоном. Для цього побудуємо графік залежності кількості  $v_{\text{МВ}}^{(\text{min})}$  помилок від їх абсолютного значення  $|e|$  і від позиції  $\xi$  відновлюваного елемента зображення в стовпці (рис. 3).

З аналізу графіка випливає, що максимальні значення помилок досягаються для останніх елементів стовпців масивів відеоданих. Однак на відміну від ЧСМ-представлення вихідних відеоданих для знизеного динамічного діапазону характерні наступні особливості:

Рис. 3. Графіки залежності  $v_{MB}^{(min)}$  від  $|e|$  та  $\xi$ 

– рівень значень помилок в елементах відеоданих знижується до 4,5 разів. При цьому довжина серії помилок скорочується в середньому в 2 рази;

– виявляються серії помилок не тільки в області максимальних значень зниженого динамічного діапазону відеоданих, але й в області мінімальних значень динамічного діапазону.

Звідси випливає, що виникнення серій помилок з великими значеннями на її кінцях (останній елемент стовпця) обумовлено тим, що величина погрешності в мультиадичних кодах, яка рівна  $|\varepsilon|=1$ , приводить до:

– с однієї сторони зберігається тенденція до розмноження помилок і до росту їхніх значень після мультиадичного декодування за рахунок того, що для елементів серії довжиною  $(m_m - 1 - \eta)$  виконується умова  $u_{\xi j} = r_\xi - 1$ . Тобто існують такі елементи в останніх рядках масиву відеоданих, для яких

одночасно виконуються дві умови: відбулася помилка у відповідному мультиадичному коді і величина елемента на 1 відрізняється від свого діапазону;

– с іншої сторони виявляється тенденція до розмноження помилок і до росту їх значення в останньому елементі. Тобто існує послідовність елементів, для яких  $u_{\xi j} = 0$ ,  $\xi = \eta$ ,  $m_m - 1$ .

## Висновки

Запропонований метод ЧСМ-представлення зі зниженим динамічним діапазоном забезпечує:

– зниження значення СКПП і підвищення візуальної якості відновлених зображень;

– додаткове зниження часу обробки (скорочується кількість оброблюваних масивів за рахунок збільшення їх розмірності).

Для додаткового зниження величини СКПП при фіксованому часі обробки і кількості розрядів на ЧСМ-представлення необхідно організувати технологію блокування величини помилки і можливості її поширення на інші елементи, що відновлюються.

## Список літератури

1. Баранник В.В., Сідченко С.А. Метод цифрової обробки зображень // Системи управління, навігація та зв'язок. – К.: ЦНДІ НіЗ. – 2007. – № 4. – С. 42-45.

2. Баранник В.В., Сідченко С.О. Аналіз підходів для зниження часу цифрової обробки зображень // Системи озброєння і військова техніка – Х.: XV ПС. – 2007. – Вип. 4(12). – С. 57-60.

Надійшла в редакцію 5.03.2008

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

## ЧАСТОТНО-СПЕКТРАЛЬНОЕ МУЛЬТИАДИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ВИДЕОДАНЫХ С Пониженным ДИНАМИЧЕСКИМ ДИАПАЗОНОМ

В.В. Баранник, С.А. Сидченко, В.П. Поляков

*Разрабатывается метод частотно-спектрального мультиадического представления данных с пониженным динамическим диапазоном. Он обеспечивает: снижение значения среднеквадратического показателя погрешности и повышения визуального качества, восстановленных изображений; дополнительное снижение времени обработки (сокращается количество обрабатываемых массивов за счет увеличения их размерности).*

**Ключевые слова:** дискретное превращение косинуса, мультиадические коды, цифровой обработки изображений, частотно спектрального мультиадического представления.

## FREQUENCY-SPECTRAL MULTIADICAL PRESENTATION OF VIDEO DATA WITH THE LOWERED DYNAMIC RANGE

V.V. Barannik, S.A. Sidchenko, V.P. Polyakov

*Developed the method of frequency-spectral multiadical presentation of data with the lowered dynamic range. He provides: decline of value of root-mean-square error and increase of visual quality of the recovered images; additional decline of time of treatment (the amount of the processed arrays is abbreviated due to multiplying their dimension).*

**Keywords:** discrete transformation of cosine, multiadical codes, digital processing of images, frequency spectral multiadical presentation.