

УДК 621.327:681.5

И.А. Романенко<sup>1</sup>, В.В. Баранник<sup>2</sup>, С.А. Сидченко<sup>2</sup><sup>1</sup>Командование Воздушных Сил ВС Украины, Винница<sup>2</sup>Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ДЕКОДИРОВАНИЯ ЧАСТОТНО-СПЕКТРАЛЬНОГО МУЛЬТИАДИЧЕСКОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

*Разрабатываются методы восстановления изображений на основе декодирования различных вариантов частотно-спектрального мультиадического представления данных, учитывающие статистические свойства изображений, особенности трансформации на основе ортогональных преобразований и возможности вычислительных систем. Предложенные методы позволяют: снизить время обработки в 2,8 – 4,5 раза в зависимости от параметров структурирования мультиадического представления; сократить величину среднеквадратичного показателя погрешности восстановления в 1,5 – 2,5 раза в зависимости от класса обрабатываемых изображений и размера мультиадического представления.*

**Ключевые слова:** цифровая обработка изображений, частотно-спектральное мультиадическое представление.

### Введение

**Постановка проблемы и анализ литературы.** Возможности существующих подходов относительно цифровой обработки изображений (ЦОИ), не адекватны современным требованиям процессов функционирования информационных систем [1, 2].

Поэтому **актуальной научно-прикладной задачей** является разработка структурного представления изображений с контролируемой потерей качества для снижения времени обработки и передачи видеоданных в информационных системах при заданном уровне достоверности информации.

На основе исследования различных подходов для повышения эффективности ЦОИ с использованием ортогональных преобразований (ОП) в [2] авторами обоснована необходимость организации предварительной обработки массивов видеоданных на основе их мультиадического представления.

В [3, 4] авторами предложен метод ЦОИ, основанный на формировании частотно-спектрального мультиадического (ЧСМ) представления данных, организованного на основе дискретного косинусного преобразования (ДКП) массивов мультиадических кодов. Данный метод позволяет сократить время обработки изображений до 10 раз относительно случая быстрого выполнения ОП. Однако, для повышения качества восстановления изображений требуется обеспечить уровень значения отношения сигнал/шум не ниже 35 – 40 дБ.

Для устранения данного недостатка в [5] был предложен метод ЧСМ-представления с пониженным динамическим диапазоном, обеспечивающий: снижение значения среднеквадратического показателя погрешности (СКПП) и повышения визуального качества восстановленных изображений; дополнительное снижение времени обработки.

Для дополнительного снижения величины СКПП при фиксированном времени обработки и количестве разрядов на ЧСМ-представление в [2 – 5]

предложен метод адаптивного ЧСМ-представления на основе организации технологии блокировки величины ошибки и возможности ее распространения на другие восстанавливаемые элементы. Это позволило снизить величину СКПП в среднем до 2,5 раза относительно случая, когда мультиадическая предобработка не проводится.

**Целью статьи** является разработка методов восстановления изображений на основе декодирования частотно-спектрального мультиадического представления.

### Изложение основного материала

Процесс декодирования ЧСМ-представления изображений организуется в обратном порядке на основе выполнения следующих этапов.

**Этап 1.** Процесс декодирования основан на выполнении обратного ДКП массивов трансформант. В результате его выполнения получается множество массивов мультиадических кодов.

Процедура обратного ОП двумерного массива  $\Phi(j, \xi)$  компонент трансформанты ЧСМ-представления фрагмента изображения размерности  $n \times n$  описывается следующим выражением:

$$C(\theta, \psi)_{j, \xi}^{\bullet} = F^T(j) \Phi(j, \xi) F(\xi); \quad (1)$$

где  $C(\theta, \psi)_{j, \xi}^{\bullet}$  – массив восстановленных мультиадических кодов;  $j, \xi$  – индексы строки и столбца элемента массива  $C(\theta, \psi)_{j, \xi}, j = \overline{1, n}; \xi = \overline{1, n}$ ;

$\Phi(j, \xi)$  – матрица компонент трансформанты ЧСМ-представления фрагмента изображения;

$F(\xi), F^T(j)$  – соответственно вектор дискретных значений базисных функций ДКП и его транспонированный вид

$$F(j) = \begin{cases} 1/\sqrt{n}, & \rightarrow j=1; \\ \sqrt{2/n} \cos(2n+1)j\pi/(2n), & j = \overline{2, n}. \end{cases}$$

Для уменьшения количества операций на обратное ОП предлагается выполнять обратное двумерное ДКП на базе двухэтапной схемы реализации (используется свойство разделимости базиса ДКП).

Выражение (1) согласно двухэтапной схемы реализации обратного двумерного ДКП задается этапами:

1) первый этап обратного преобразования имеет вид

$$P_{\text{обр}}(j, \xi) = F^T(j) \Phi(j, \xi), \quad (2)$$

где  $P_{\text{обр}}(j, \xi)$  - промежуточная матрица размерности  $n \times n$ ;

2) второй этап обратного преобразования определяется выражением

$$C(\theta, \psi)_{j, \xi}^{\bullet} = P_{\text{обр}}(j, \xi) F(\xi). \quad (3)$$

Соотношения (2) и (3) позволяют восстановить массивы мультиадических кодов  $C(\theta, \psi)^{\bullet}$  изображений на основе двухэтапной схемы выполнения обратного ОП, которые состоят из взвешенных интегрированных представлений локальных фрагментов изображения - мультиадических кодов  $N(\xi, \theta, \psi)_{j, \xi}^{\bullet}$ , где  $j = \overline{1, n}$ ,  $\xi = \overline{1, \ell_s}$ ,  $\theta = \overline{1, v_s}$ ,  $\psi = \overline{1, v_d}$ .

**Этап 2.** Восстановление элементов изображения  $a_{ij}^{(\xi, \theta, \psi)^{\bullet}}$  из мультиадических кодов  $N(\xi, \theta, \psi)_{j, \xi}^{\bullet}$  для всех восстановленных массивов мультиадических кодов  $C(\theta, \psi)^{\bullet}$ , которое задается выражением

$$a_{ij}^{(\xi, \theta, \psi)^{\bullet}} = \left[ \frac{N(\xi, \theta, \psi)_{j, \xi}^{\bullet}}{V_i^{(\xi, \theta, \psi)}} \right] - \left[ \frac{N(\xi, \theta, \psi)_{j, \xi}^{\bullet}}{V_i^{(\xi, \theta, \psi)} \times r_i^{(\xi, \theta, \psi)}} \right] \times r_i^{(\xi, \theta, \psi)}, \quad j = \overline{1, n}, \quad (4)$$

где  $a_{ij}^{(\xi, \theta, \psi)^{\bullet}}$  -  $i$ -й элемент  $j$ -го столбца  $\xi$ -го массива восстановленного изображения, принадлежащего  $\theta$ -му сектору  $\psi$ -й линейки кадра;  $N(\xi, \theta, \psi)_{j, \xi}^{\bullet}$  - восстановленный мультиадический код  $j$ -го столбца  $\xi$ -го массива видеоданных сектора  $S_{\theta, \psi}$ ;  $V_i^{(\xi, \theta, \psi)}$  - весовой коэффициент для элементов  $i$ -й строки  $\xi$ -го массива видеоданных, являющийся произведением максимальных элементов последующих за ним строк:

$$V_i^{(\xi, \theta, \psi)} = \prod_{k=i+1}^{m_M} r_k^{(\xi, \theta, \psi)}; \quad (5)$$

где  $r_i^{(\xi, \theta, \psi)}$  - максимальный элемент  $i$ -й строки исходного массива увеличенный на 1 (массив максимальных элементов хранится вместе с ЧСМ-представлением);  $m_M$  - количество строк в массиве видеоданных.

С учетом формулы (5) выражение (4) примет вид:

$$a_{ij}^{(\xi, \theta, \psi)^{\bullet}} = \left[ N(\xi, \theta, \psi)_{j, \xi}^{\bullet} / \prod_{k=i+1}^{m_M} r_k^{(\xi, \theta, \psi)} \right] - \left[ N(\xi, \theta, \psi)_{j, \xi}^{\bullet} / \left( r_i^{(\xi, \theta, \psi)} \times \prod_{k=i+1}^{m_M} r_k^{(\xi, \theta, \psi)} \right) \right] \times r_i^{(\xi, \theta, \psi)}. \quad (6)$$

Если в ЧСМ-представлении использовалась схема понижения динамических диапазонов по строкам массивов видеоданных, то вместо выражения (4) восстановление элементов изображений  $a_{ij}^{(\xi, \theta, \psi)^{\bullet}}$  из мультиадического кода  $N(\xi, \theta, \psi)_{j, \xi}^{\bullet}$  задается следующими действиями.

1. Формируется вектор  $P$  ограниченный на динамический диапазон для мультиадического кода  $N(\xi, \theta, \psi)_{j, \xi}^{\bullet}$  с учетом его уменьшения

$$p_i^{(\xi, \theta, \psi)} = r_i^{(\xi, \theta, \psi)} - z_i^{(\xi, \theta, \psi)}; \quad (7)$$

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

где  $p_i^{(\xi, \theta, \psi)}$  - величина динамического диапазона элементов в  $i$ -й строке после вычета минимального значения;  $z_i^{(\xi, \theta, \psi)}$  - минимальное значение в  $i$ -й строке  $\xi$ -го массива видеоданных (массив минимальных элементов хранится вместе с ЧСМ-представлением).

2. Вычисляются весовые коэффициенты  $H_i^{(\xi, \theta, \psi)}$  для элементов  $i$ -й строки  $\xi$ -го массива видеоданных,  $i = \overline{1, m_M}$ :

$$H_i^{(\xi, \theta, \psi)} = \prod_{k=i+1}^{m_M} p_k^{(\xi, \theta, \psi)} = \prod_{k=i+1}^{m_M} (r_k^{(\xi, \theta, \psi)} - z_k^{(\xi, \theta, \psi)}), \quad i = \overline{1, m_M}. \quad (8)$$

3. Восстанавливается элемент изображения с пониженным динамическим диапазоном, равным  $u_{ij}^{(\xi, \theta, \psi)^{\bullet}}$ , из мультиадического кода  $N(\xi, \theta, \psi)_{j, \xi}^{\bullet}$ :

$$u_{ij}^{(\xi, \theta, \psi)^{\bullet}} = \left[ \frac{N(\xi, \theta, \psi)_{j, \xi}^{\bullet}}{H_i^{(\xi, \theta, \psi)}} \right] - \left[ \frac{N(\xi, \theta, \psi)_{j, \xi}^{\bullet}}{p_i^{(\xi, \theta, \psi)} \times H_i^{(\xi, \theta, \psi)}} \right] \times p_i^{(\xi, \theta, \psi)}, \quad (9)$$

где  $u_{ij}^{(\xi, \theta, \psi)^{\bullet}}$  -  $i$ -й элемент  $j$ -го столбца  $\xi$ -го массива восстановленных видеоданных с пониженным динамическим диапазоном, принадлежащего  $\theta$ -му сектору  $\psi$ -й линейки кадра.

4. Восстановление динамического диапазона для восстановления элементов  $a_{ij}^{(\xi, \theta, \psi)^{\bullet}}$  изображения в строках массива задается выражением

$$a_{ij}^{(\xi, \theta, \psi)^{\bullet}} = u_{ij}^{(\xi, \theta, \psi)^{\bullet}} + z_i^{(\xi, \theta, \psi)}. \quad (10)$$

С учетом формул (5) - (9) выражение (10) для восстановления элементов изображений примет вид:

$$a_{ij}^{(\xi, \theta, \psi)} = \left[ N(\xi, \theta, \psi)_j \cdot \left( \prod_{k=i+1}^{m_M} (r_k^{(\xi, \theta, \psi)} - z_k^{(\xi, \theta, \psi)}) \right) \right] - \left[ N(\xi, \theta, \psi)_j \cdot \left( r_k^{(\xi, \theta, \psi)} - z_k^{(\xi, \theta, \psi)} \right) \prod_{k=i+1}^{m_M} (r_k^{(\xi, \theta, \psi)} - z_k^{(\xi, \theta, \psi)}) \right] \times (r_i^{(\xi, \theta, \psi)} - z_i^{(\xi, \theta, \psi)}) + z_i^{(\xi, \theta, \psi)}$$

Процесс декодирования адаптивного ЧСМ-представления изображений проводится по схеме декодирования ЧСМ-представления с пониженным динамическим диапазоном с учетом понижения восстановленных значений последней строки на 1.

На практике блокировку, обеспечивающую снижение значения ошибки в младшем элементе столбца видеоданных и локализации процесса размножения ошибок, для адаптивного ЧСМ-представления на этапе кодирования также можно реализовать за счет расширения динамического диапазона последней строки снизу и сверху на 1 относительно схемы ЧСМ-представления с пониженным динамическим диапазоном. Это можно провести за счет снижения значения минимального элемента на 1 и увеличения максимального элемента еще дополнительно на 1:

$$r_{m_M}^{(\xi, \theta, \psi)} = \max_{1 \leq j \leq n} (a_{1j}^{(\xi, \theta, \psi)}) + 2; \quad z_{m_M}^{(\xi, \theta, \psi)} = \min_{1 \leq j \leq n} (a_{1j}^{(\xi, \theta, \psi)}) - 1.$$

При этом декодирование проводится по схеме декодирования ЧСМ-представления с пониженным динамическим диапазоном без изменений.

### Выводы

Предложенные методы позволяют относительно известных методов обработки для заданного уровня достоверности информации обеспечить одновременно:

– снижение времени обработки в 2,8 – 4,5 раза в зависимости от параметров структурирования мультиадического представления;

– сокращение величины СКПП восстановления в 1,5 – 2,5 раза в зависимости от класса обрабатываемых изображений и размера мультиадического представления;

– уменьшение количества элементов изображения, восстановленных с ошибкой в 2,5 раза и в 5 – 7 раз соответственно для сильно- и средненасыщенных изображений;

– значение величины СКПП находится на уровне 0,11 – 0,16 уровней квантования. Это обеспечивает значение пикового отношения сигнал/шум не ниже, чем 64 дБ, что на 20 дБ больше относительно ЦОИ с использованием ОП без адаптивной мультиадической предобработки.

### Список литературы

1. Баранник В.В., Сидченко С.О. Аналіз підходів для зниження часу цифрової обробки зображень // Системи озброєння і військова техніка – 2007. – Вип. 4(12). – С. 57-60.
2. Баранник В.В., Сидченко С.А. Обоснование выбора подхода для построения технологии цифровой обработки изображений // Системи обробки інформації. – X.: ХУПС. – 2008. – Вип. 1 (68). – С. 6-10.
3. Баранник В.В., Сидченко С.А. Метод цифровой обработки изображений // Системи управління, навігація та зв'язок. – К.: ЦНДІ НІЗ. – 2007. – № 4. – С. 19-21.
4. Barannik V., Sidchenko S. Technology of the Data Processing on the Basis of Spectral-Frequency Transformation of Multiadical Presentation of Images // International Conference TCSET'2008, Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science. – Ukraine, Lviv-Slavsko: Lviv Polytechnic National University, 2008. – P. 381-383.
5. Баранник В.В., Сидченко С.О., Поляков В.П. Частотно-спектральне мультиадичне представлення відеоданих зі зниженим динамічним діапазоном // Системи озброєння і військова техніка – 2008. – Вип. 1 (13). – С. 55-60.

Поступила в редколлегию 22.02.2008

**Рецензент:** д-р тех. наук, проф. Ю.В. Стасев, Харьковский университет Воздушных Сил имени И. Кожедуба, Харьков.

### ВІДНОВЛЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ ДЕКОДУВАННЯ ЧАСТОТНО-СПЕКТРАЛЬНОГО МУЛЬТИАДИЧНОГО ПРЕДСТАВЛЕННЯ

І.О. Романенко, В.В. Баранник, С.О. Сідченко

Розробляються методи відновлення зображень на основі декодування різних варіантів частотно-спектрального мультиадичного представлення даних, що враховують статистичні властивості зображень, особливості трансформації на основі ортогональних перетворень і можливості обчислювальних систем. Запропоновані методи дозволяють: понизити час обробки в 2,8 – 4,5 разів залежно від параметрів структуризації мультиадичного представлення; скоротити величину середньоквадратичного показника погрешності відновлення в 1,5 – 2,5 разів залежно від класу обробланих зображень і розміру мультиадичного представлення.

**Ключові слова:** цифрова обробка зображень, частотно-спектральне мультиадичне представлення.

### REGENERATION OF IMAGES ON THE BASIS OF DECODING FREQUENCY-SPECTRAL MULTIADDD PRESENTATION

I.A. Romanenko, V.V. Barannik, S.A. Sidchenko

The methods of regeneration of images are developed on the basis of decoding of different variants of frequency-spectral multiadddpresentation of information, taking into account statistical properties of images, features of transformation on the basis of orthogonal transformations and possibility of the computer systems. The offered methods allow: to reduce the time of treatments in 2,8 4,5 time depending on the parameters of structuring of multiaddd presentation; to shorten the size of mean-square index of error of renewal in 1,5 2,5 of time depending on the class of the processed images and size of multiaddd presentation.

**Keywords:** digital processing of images, frequency-spectral multiaddd presentation.