

УДК 629.391

В.В. БАРАННИК, С.А. СИДЧЕНКО

Харьковский университет Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба, Украина

ТЕХНОЛОГИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОРТОГОНАЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ МУЛЬТИАДИЧЕСКИХ КОДОВ

Разрабатывается технология цифровой обработки изображений, основанная на формировании спектрально-частотного представления для мультиадических кодовых конструкций. Мультиадическое представление строится для локальных фрагментов изображений на основе взвешенного кодирования их столбцов. Спектрально-частотное преобразование организуется на основе двумерного дискретного косинусного преобразования. В этом случае обеспечивается двойное интегрированное энергетическое преобразование исходных массивов видеоданных. Оценка эффективности процессов цифровой обработки изображений выявила, что значения среднеквадратического показателя погрешности восстановления изображений находятся на допустимом уровне, а величина выигрыша по времени обработки для частотно-спектрального мультиадического представления относительно обработки исходных видеоданных составляет до 4,35 раз. Для повышения качества восстановления изображений предлагается построить частотно-спектральное мультиадическое представление, адаптированное к особенностям мультиадического представления и дискретного косинусного преобразования.

мультиадическое представление, ортогональное преобразование, цифровая обработка изображений

Введение

Постановка проблемы и анализ литературы.

Возможности существующих подходов относительно ЦОИ неадекватны современным требованиям процессов функционирования информационных систем [1, 2]. Поэтому **актуальной научной задачей** является сокращение времени обработки и передачи видеоданных в информационных системах.

В результате решения поставленной научной задачи авторами в [3] предложен метод ЦОИ, основанный на ортогональном преобразовании (ОП) мультиадических кодовых конструкций, что позволяет сократить время обработки при обеспечении достаточного качества восстановления изображений.

Целью статьи является разработка технологии ЦОИ, основанной на формировании спектрально-частотного представления для мультиадических кодовых конструкций.

Построение технологии предлагается организо-

вывать на следующих этапах:

- 1) предварительная обработка: блочное структурирование кадра изображения; формирование мультиадического представления для МВ;
- 2) выполнение ОП для мультиадического представления изображений;
- 3) вторичная обработка полученных трансформант ОП.

Формирование мультиадического представления для МВ

В процессе построения технологии ЦОИ необходимо учитывать, что:

- формирование мультиадических кодовых конструкций осуществляется по целым столбцам МВ;
- ОП выполняется не для массивов исходных видеоданных, а для их мультиадического представления;
- трансформанты представляют собой частотно-спектральные характеристики не фрагментов изображений, а их мультиадического представления;
- коэффициенты преобразования (компоненты

трансформанты) несут информацию не о содержании последовательности элементов, а являются результатом двойной энергетической переработки.

В связи с этим мультиадическое представление фрагментов изображений предлагается организовать, опираясь на технологические принципы:

1) *формирования МВ*. Данный принцип лежит в основе блочной структуризации кадра изображения и должен учитывать: постолбцовую схему вычисления значений мультиадических кодов (МК), в том числе исключать возможности переполнения текущей разрядности машинного слова и уменьшать количество разрядов служебных данных, приходящихся в среднем на элемент изображения; особенности процесса развертки изображения. Это необходимо для снижения времени обработки изображения;

2) *образования мультиадического представления*. Для разработки принципа необходимо строить массивы МК, учитывая: требование двумерности структуры организации данных для выполнения ОП; сохранение коррелированности и когерентности между столбцами МВ (сохранение однородности данных для выполнения ОП); условие обеспечения кратности размерностей между массивами мультиадического представления и размерами изображения;

3) *адаптации мультиадического представления* к переработке его в частотно-спектральную область. Требуется создать такую структуру мультиадического представления, которая бы обеспечила дополнительное повышение эффективности ЦОИ. Необходимо учитывать направления уменьшения значений среднеквадратического показателя погрешности восстановленных изображений, снижения величины динамического диапазона компонент трансформант, сокращение суммарного времени обработки данных.

Процесс построения мультиадического представления изображений организуется на двух эта-

пах.

Этап 1. Формируются МК для столбцов МВ. Обработка θ -го сектора ψ -й линейки задается следующими преобразованиями:

$$N(\xi, \theta, \psi)_j = \sum_{i=1}^{m_M} a_{ij}^{(\xi, \theta, \psi)} V_i^{(\xi, \theta, \psi)}, \quad j = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где $a_{ij}^{(\xi, \theta, \psi)}$ – i -й элемент j -го столбца ξ -го массива исходного изображения, принадлежащего θ -му сектору ψ -й линейки кадра; $N(\xi, \theta, \psi)_j$ – МК j -го столбца ξ -го МВ сектора $S_{\theta, \psi}$; $V_i^{(\xi, \theta, \psi)}$ – весовой коэффициент для элементов i -й строки ξ -го МВ, являющийся произведением максимальных элементов последующих за ним строк:

$$V_i^{(\xi, \theta, \psi)} = \prod_{k=i+1}^{m_M} r_k^{(\xi, \theta, \psi)}; \quad r_i^{(\xi, \theta, \psi)} – \text{максимальный элемент } i\text{-й строки исходного массива увеличенный на } 1: r_i^{(\xi, \theta, \psi)} = \max_{1 \leq j \leq n} (a_{ij}^{(\xi, \theta, \psi)}) + 1; \quad m_M –$$

количество строк в массиве видеоданных.

Этап 2. В результате получения кодов $N(\xi, \theta, \psi)_j$ для всех столбцов $j = \overline{1, n}$ массива формируется его мультиадическое представление

$$N^{(\xi, \theta, \psi)} = N\{(\xi, \theta, \psi)_1, \dots, N(\xi, \theta, \psi)_j, \dots, N(\xi, \theta, \psi)_n\}.$$

В соответствии с предложенной схемой образования массивов $C(\theta, \psi)$ МК последовательность $N^{(\xi, \theta, \psi)}$ формирует его столбец.

Построение ξ -го столбца массива $C(\theta, \psi)$ задается соотношением

$$C_{j\xi}^{(\theta, \psi)} = N(\xi, \theta, \psi)_j, \quad j = \overline{1, n}, \quad (2)$$

где $C_{j\xi}^{(\theta, \psi)}$ – элемент массива $C(\theta, \psi)$, расположенный на пересечении j -й строк и ξ -го столбца θ -го массива МК ψ -й линейки кадра.

Завершение процесса формирования массива

$C(\theta, \psi)$ оканчивается после определения последовательности $N^{(\ell_s, \theta, \psi)}$ для последнего МВ текущего сектора. Массив $C(\theta, \psi)$ МК имеет вид

$$C(\theta, \psi) = \begin{pmatrix} C_{11}^{(\theta, \psi)} & \dots & C_{1\xi}^{(\theta, \psi)} & \dots & C_{1\ell_s}^{(\theta, \psi)} \\ C_{j1}^{(\theta, \psi)} & \dots & C_{j\xi}^{(\theta, \psi)} & \dots & C_{j\ell_s}^{(\theta, \psi)} \\ C_{n1}^{(\theta, \psi)} & \dots & C_{n\xi}^{(\theta, \psi)} & \dots & C_{n\ell_s}^{(\theta, \psi)} \end{pmatrix}, \quad (3)$$

где ℓ_s – длина сектора, равная величине n .

В этом случае будет сформировано мультиадическое представление сектора $S_{\theta, \psi}$: $S_{\theta, \psi} \rightarrow C(\theta, \psi)$.

Мультиадические представления $C(\psi)$ для ψ -й линейки и C для всего кадра задаются соответственно следующими соотношениями:

$$S(\psi) = \{S_{\theta, \psi}\}_{\theta=1, \overline{v_s}} \rightarrow C(\psi) = \{C(\theta, \psi)\}_{\theta=1, \overline{v_s}}; \quad (4)$$

$$S = \{S(\psi)\}_{\psi=1, \overline{v_l}} \rightarrow C = \{C(\psi)\}_{\psi=1, \overline{v_l}}, \quad (5)$$

где $\{S_{\theta, \psi}\}_{\theta=1, \overline{v_s}}$ – последовательность секторов линейки $S(\psi)$; $\{C(\theta, \psi)\}_{\theta=1, \overline{v_s}}$ – последовательность мультиадических представлений для секторов ψ -й линейки; v_s – количество секторов в линейке; $\{S(\psi)\}_{\psi=1, \overline{v_l}}$ – последовательность линеек, образующих кадр S изображения; $\{C(\psi)\}_{\psi=1, \overline{v_l}}$ – последовательность мультиадических представлений линеек, на базе которых формируется мультиадическое представление C всего кадра; v_l – количество линеек в кадре. Согласно структуризации кадра мультиадическое представление C изображения является двумерным массивом, составленным из мультиадических представлений $C(\theta, \psi)$ отдельных секторов

$$C = \begin{pmatrix} C(1, 1) & \dots & C(\theta, 1) & \dots & C(v_s, 1) \\ C(1, \psi) & \dots & C(\theta, \psi) & \dots & C(v_s, \psi) \\ C(1, v_l) & \dots & C(\theta, v_l) & \dots & C(v_s, v_l) \end{pmatrix}. \quad (6)$$

На основе анализа выражений (1) – (6) вытекает следующее определение.

Определение 1. Мультиадическое представление

является такой формой представления изображений, для которой образуется взвешенное интегрированное представление локальных фрагментов изображения $C = \{N(\xi, \theta, \psi)_j\}$, где $j = \overline{1, n}$; $\xi = \overline{1, \ell_s}$; $\theta = \overline{1, v_s}$; $\psi = \overline{1, v_l}$.

Выполнение ОП для мультиадического представления изображений

Следующим этапом процесса цифровой обработки является выполнение ОП. При этом образуется новая форма представления изображений.

Определение 2. Частотно-спектральной мультиадической формой представления данных называется такая форма представления, для которой формирование спектра частот проводится для массивов МК.

Построение частотно-спектрального мультиадического (ЧСМ) представления изображений предлагается организовывать на основе дискретного косинусного преобразования (ДКП) массивов МК.

Использование ДКП для аппроксимации значений МК в пределах одного сектора обосновывается тем, что:

- базисные функции вещественные;
- ДКП базируется на корреляции по всему массиву данных (все коэффициенты преобразования имеют интегрированную чувствительность по всем элементам массива данных);
- минимизирует среднеквадратический показатель погрешности (СКПП) при восстановлении. Значение среднеквадратической погрешности восстановления приближается к нижнему уровню, определяемому преобразованием Карунэна-Лоэва;
- базисные функции не зависят от отсчетов исходного сигнала. Значит, для каждого массива МК не требуется строить аппроксимирующие функции;
- существуют быстрые алгоритмы реализации ДКП.

Для уменьшения количества операций на ОП предлагается выполнять двумерное ДКП на базе двухэтапной схемы реализации (используется свой-

ство разделимости базиса ДКП).

Процедура ОП двухмерного массива $C(\theta, \psi)$ размерности $n \times n$ описывается выражением:

$$\Phi(j, \xi) = F(j) C(\theta, \psi)_{j, \xi} F^T(\xi); \quad (7)$$

где $C(\theta, \psi)_{j, \xi}$ – массив МК; j, ξ – соответственно индекс 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; $F(j), F^T(\xi)$ – вектор дискретных значений базисных функций ДКП и его транспонированный вид:

$$F(j) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{n}} & \rightarrow j=1; \\ \sqrt{\frac{2}{n}} \cos \frac{(2n+1)j\pi}{2n}, & \rightarrow j = \overline{2, n}. \end{cases} \quad (8)$$

Выражение (8) согласно двухэтапной схемы реализации двумерного ДКП задается двумя этапами.

На **первом этапе** выполняется одномерное ДКП столбцов массива МК, в результате которых формируется промежуточный массив $\Pi(j, \xi)$:

$$\Pi(j, \xi) = F(j) C(\theta, \psi)_{j, \xi}, \quad (9)$$

где $\Pi(j, \xi)$ – массив размерности $n \times n$.

С учетом системы выражений (8) для вектора базисных функций $F(j)$ и формулы для определения элементов массива МК соотношение (9) с учетом формулы (1) примет вид:

$$\begin{aligned} \Pi(1, \xi) &= \frac{1}{\sqrt{n}} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{m_M} a_{ij}^{(\xi, \theta, \psi)} V_i^{(\xi, \theta, \psi)}; \quad (10) \\ \Pi(j, \xi) &= \\ &= \sqrt{\frac{2}{n}} \sum_{j=1}^n \left(\sum_{i=1}^{m_M} a_{ij}^{(\xi, \theta, \psi)} V_i^{(\xi, \theta, \psi)} \right) \cos \frac{(2n+1)j\pi}{2n}, \quad (11) \end{aligned}$$

где $C_{j, \xi}^{(\theta, \psi)}$ – элемент массива $C(\theta, \psi)$, расположенный на пересечении j -й строки и ξ -го столбца θ -го массива МК ψ -й линейки кадра и равный вели-

$$\text{чине } N(\xi, \theta, \psi)_j = \sum_{i=1}^{m_M} a_{ij}^{(\xi, \theta, \psi)} V_i^{(\xi, \theta, \psi)}.$$

Второй этап связан с выполнением одномерного ДКП для строк промежуточного массива $\Pi(j, \xi)$:

$$\Phi(j, \xi) = \Pi(j, \xi) F^T(\xi). \quad (12)$$

Соотношения (10) – (12) позволяют сформировать частотно-спектральное мультиадическое представление $\Phi(j, \xi)$ изображений на основе двухэтапной схемы выполнения ОП.

Из анализа этих выражений следует, что:

- нормировка и умножение на вещественное значение базисного коэффициента ДКП проводится не для отдельных элементов изображений, а для величины, полученной путем взвешенного их суммирования. Значит, сокращается в m_M раз количество элементов, в которых происходят искажения;

- динамический диапазон целочисленной величины, для которой осуществляется умножение (деление), имеет большее значение, чем динамический диапазон элементов изображений. Следовательно, погрешность, возникающая при выполнении прямого и обратного ДКП, затронет меньшее удельное количество разрядов, чем в процессе преобразования исходных элементов изображения. Отсюда вытекает, что при восстановлении изображения будет существовать определенное количество элементов, полученных без погрешности.

Оценка эффективности процессов ЦОИ

Данные особенности создают потенциальные возможности для уменьшения значения СКПП восстановления изображений при ЧСМ-представлении изображений.

Значения СКПП δ в зависимости от размеров МВ $m_M \times n$, для которых формируется мультиадическое представление, и размеров $n \times n$ массивов МК представлены в табл. 1.

Таблица 1
Зависимость величины δ от m_m и n

Размер МВ ($m_m \times n$)	Размер массивов МК ($n \times n$)	
	8×8	16×16
4×4	7,6482	8,7151
5×5	5,5728	6,0558
6×6	5,6904	4,9234

Анализ данных в табл. 1 показывает, что:

– значения СКПП восстановления изображений находятся на допустимом уровне (величина пикового отношения сигнал/шум не ниже уровня 30 дБ);

– при увеличении количества m_m элементов изображения, для которых формируется МК, значение СКПП снижается в среднем на 10–20 %;

– для фиксированного значения m_m величина СКПП уменьшается при увеличении размерности n массива МК, для которых выполняется ДКП.

Величина временного выигрыша Δt для ЧСМ-представления относительно обработки исходных видеоданных в зависимости от размеров m_m и n , преобразуемых массивов данных, для универсального процессора Intel Pentium IV показана в табл. 2.

Таблица 2
Зависимость величины Δt от m_m и n

Размер МВ ($m_m \times n$)	Размер массивов МК ($n \times n$)		
	8×8	16×16	32×32
4×4	2,81	3,04	3,19
5×5	3,28	3,59	3,79
6×6	3,68	4,07	4,35

Результаты оценки величины Δt свидетельствуют о том, что:

– величина выигрыша по времени обработки для ЧСМ-представления относительно обработки исходных видеоданных изменяется от 2,81 до 4,35 раз;

– временной выигрыш увеличивается в 1,36 раз (на 23 %) при увеличении количества m_m элементов, для которых вычисляется значение МК. Это обусловлено сокращением количества массивов

данных, для которых выполняется ДКП;

– при увеличении n для фиксированного значения m_m временной выигрыш увеличивается до 15 %.

В то же время для созданной технологии формирования ЧСМ-представления изображений присущий недостаток, связанный с тем, что для повышения качества восстановления изображений требуется обеспечить уровень значения отношения сигнал/шум не ниже 35 – 40 дБ. Для его исключения необходимо построить ЧСМ-представление, адаптированное к особенностям мультиадического представления и дискретного косинусного преобразования.

Заключение

Предложена технология ЦОИ, основанная на формировании спектрально-частотного представления для мультиадических кодовых конструкций.

Оценка эффективности процессов ЦОИ выявила:

– значения СКПП восстановления изображений находятся на допустимом уровне;

– величина выигрыша по времени обработки для ЧСМ-представления относительно обработки исходных видеоданных составляет до 4,35 раз.

Литература

1. Ватолин В.И., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. – М.: ДИАЛОГ – МИФИ, 2002. – 384 с.
2. Баранник В.В., Сідченко С.О. Зниження часу цифрової обробки зображень // Системи озброєння і військова техніка. – 2007. – Вип. 4(12). – С. 57-60.
3. Баранник В.В., Сідченко С.А. Метод цифрової обробки изображений // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІ НіЗ. – 2007. – № 4. – С. 19-21.

Поступила в редакцию 17.01.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. П.Ф. Поляков, Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков.