

## МОДИФИЦИРОВАННОЕ ЗОНАЛЬНОЕ КОДИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ ОБЪЕДИНЕНИИ ГРУПП КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

к.т.н. С.В. Малахов, к.т.н. В.И. Новиков, Н.В. Крыжевский  
(представил проф. А.В. Королёв)

*Представлены результаты экспериментальных исследований по сжатию и восстановлению полутонных изображений посредством кодирования с преобразованием. При обработке трансформант использован модифицированный зональный метод кодирования, основанный на двух различных способах формирования областей селекции коэффициентов трансформант (ОСКТ). Проанализировано изменение качества восстанавливаемых репродукций и определены варианты перестройки алгоритма кодирования.*

**Актуальность.** Проблема сжатия видеоданных сопровождала все этапы развития систем передачи информации на протяжении всей их истории. Пропускная способность сетей передачи данных, вычислительная мощность используемого оборудования и емкость носителей информации всегда отставали от требований предъявляемых к скорости передачи видеoinформации с одной стороны, и качеству воспроизводимых изображений с другой. Появление цифрового спутникового телевидения (TV), проведение видеоконференций, внедрение технологий передачи изображений в системах сотовой связи и распространение новых типов носителей информации (Video-CD, DVD-диски, flash-память) – все это стало возможным благодаря широкому внедрению различных форматов компактного представления изображений (MPEG, DV, JPEG) с соответствующей им аппаратной реализацией средств сжатия видеоданных (СЖВ). Анализ литературы показал, что при реализации межкадрового и внутрикадрового режимов обработки видеоданных в подавляющем большинстве используемых форматов применяются методы сжатия с преобразованием [1 – 3]. Кодирование с преобразованием относится к группе методов сжатия с частичной потерей качества восстанавливаемых изображений (СЧПК). В основу этих методов заложена идея поиска и устранения, с точки зрения психофизиологической модели восприятия человека, избыточной информации [1 – 4]. Путем использования сложных алгоритмов обработки данные методы обеспечивают достижение

достаточно высоких степеней компрессии.

**Постановка проблемы и анализ последних исследований.** Применяемые на этапе отбора коэффициентов трансформант зональный и пороговый методы [4] во многих случаях не обеспечивают требуемую разрешающую способность репродукций. Данное обстоятельство особо проявляется при обработке полутоновых изображений (256 градаций серого) или яркостной составляющей компонентного TV сигнала, что обусловлено тем, что градации яркости воспринимаются зрительным аппаратом человека значительно тоньше, чем градации цвета [1]. Поэтому решение вопросов, связанных с уменьшением величины ошибок восстанавливаемых полутоновых изображений при сохранении высоких степеней компрессии всего массива видеоданных, является актуальной задачей.

В ранее опубликованных работах [5, 6] были предложены два способа формирования областей селекции коэффициентов трансформант (ОСКТ), полученных в результате проведения дискретного косинусного преобразования (ДКП) [1, 2, 4]. В основе обоих способов используется модифицированное зональное кодирование коэффициентов трансформант. Так, в статье [5] представлены результаты экспериментов, направленных на изучение зависимости качества восстанавливаемых изображений от количества ОСКТ. При этом информация о фазовых составляющих коэффициентов преобразования сохранялась в полном объеме путем формирования массива матриц знаков (МЗ) [7]. В работе [6] с целью увеличения степени сжатия проанализирована возможность полного исключения фазовых составляющих спектра в неохваченной функцией зонального маскирования области трансформант при реализации предложенных в [5] способов формирования ОСКТ.

**Цель исследований.** Целью данного цикла исследований является изучение изменения качества восстанавливаемых полутоновых изображений при поэтапном уменьшении количества ОСКТ и полном сохранении всех компонент МЗ. Данный вариант обработки трансформант является переходным между вариантами, рассмотренными в [5, 6]. В данном случае механизм объединения соседних ОСКТ, в отличие от [5], стал более гармоничным, так как в большей мере учитывает “человеческий фактор”. При этом процесс объединения сформированных зон (ОСКТ) инициируется в области группировки гармоник высших порядков (высоких пространственных частот) и проводится в направлении области трансформант, охваченных функцией зонального маскирования, объединяющей в большей части гармоники низших порядков [4]. Это обусловлено тем, что основная информационная нагрузка ложится на коэффициенты, образующие низкочастотную область трансформант, к изменению состава и вели-

чины которых более чувствителен зрительный аппарат человека [1, 4].

Суть рассматриваемого варианта поясняет рис. 1. Здесь исходной трансформантой  $F_N(U;V)$  (где  $N$  – количество ОСКТ) является матрица размером  $8 \times 8$  элементов (эл.). Левая верхняя трансформанта ( $F_7(U;V)$ ) сформирована посредством применения первого способа формирования ОСКТ, а правая нижняя соответственно 2-м способом [5]. Как следует из рис. 1, для матрицы размером  $8 \times 8$  эл. ( $F_7(U;V)$ ) возможно проведение шести шагов ( $\tau$ ) по объединению смежных зон. При  $\tau = 5$  первый и второй способы формируют трансформанту с одинаковой конфигурацией ОСКТ ( $F_2(U;V)$ ). На 6-м шаге объединения смежных зон формируется матрица  $F_1(U;V)$ , аналогичная получаемой в результате использования традиционного зонального метода (Zonal) (рис. 1, позиция 8) [4].

В работе [6] было предложено следующее условное обозначение вариантов обработки трансформант:  $F_N(U;V) + M3$  – трансформанта, содержащая  $N$  зон при полном сохранении всей информации о компонентах МЗ. Так как в данном случае процесс объединения смежных зон, в отличие от [5, 6], инициируется в высокочастотной области трансформант (далее ВЧ объединение), то требуется дополнить введенное ранее обозначение. Поэтому запись  $kF_N(U;V) + M3/ВЧ$  будет обозначать: трансформанта, сформированная  $k$ -м способом; содержит  $N$  зон; полное сохранение всей информации о компонентах МЗ (+МЗ), ВЧ объединение смежных ОСКТ (/ВЧ).

Для оценки степени отличия восстановленных блоков изображения относительно их оригинала, использован введенный в [5, 6] коэффициент разницы  $K_r$ . Он связывает взятые по модулю значения разностей яркости элементов исходного ( $X$ ) и восстановленного ( $X'$ ) блоков изображения –  $|\Delta x_{i,j}|$  с их количеством [6]:

$$K_r = \sum_{\Delta x_{ij}=5}^{\Delta x_{ij}=\max} \frac{n_{\Delta}}{|\Delta x_{ij}|}, \quad (1)$$

где  $n_{\Delta}$  – общее количество эл. восстановленного блока изображения, отличающихся от их оригинала на величину  $|\Delta x_{i,j}|$  ( $i, j$  – координаты пикселя в блоке изображения), причем, оценка проведена *только для визуально фиксируемых изменений яркости* ( $|\Delta x_{i,j}| \geq 5$ ) [1].

По результатам данного цикла исследований синтезирован алгоритм перестройки вариантов обработки трансформант, обеспечивающий постепенный рост величины искажений восстановленных изображений, который *ограничен величиной ошибок, характерных для Zonal*.

В соответствии с ним, каждый последующий шаг алгоритма ( $\tau_a$ ) представляет собой очередное упрощение базовой трансформанты ( $F_7(U;V)$ ),

проводимое путем ВЧ объединения соседних ОСКТ (рис. 1):

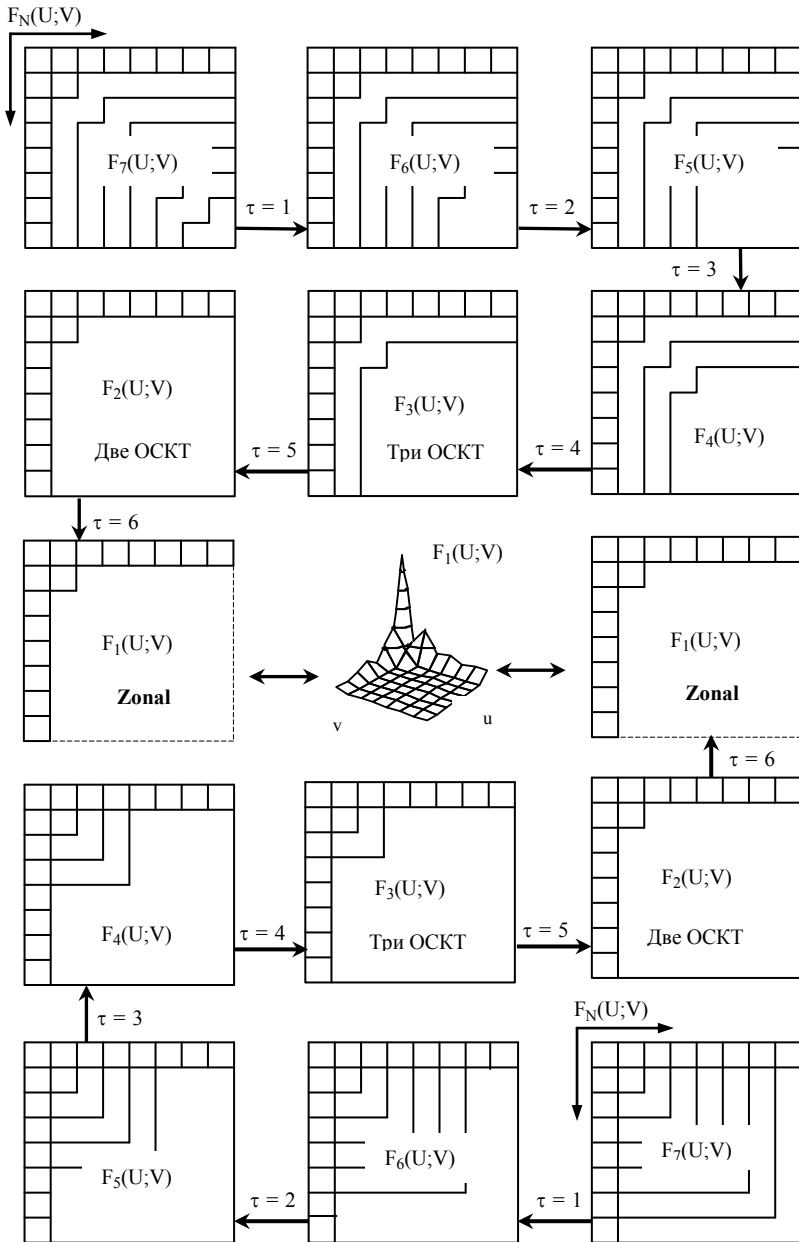


Рис. 1. Порядок объединения ОСКТ для матрицы 8x8 элементов

$$\begin{aligned}
& 2F_7(U; V) + M3/ВЧ \xrightarrow{\tau_a=1} 2F_6(U; V) + M3/ВЧ \xrightarrow{\tau_a=2} \dots \\
& \rightarrow 2F_5(U; V) + M3/ВЧ \xrightarrow{\tau_a=3} 2F_4(U; V) + M3/ВЧ \xrightarrow{\tau_a=4} \dots \\
& \rightarrow 1F_3(U; V) + M3/ВЧ \xrightarrow{\tau_a=5} 1F_2(U; V) + M3/ВЧ \xrightarrow{\tau_a=6} \text{Zons.}
\end{aligned}$$

При этом, чем большее количество зон сформировано в базовой последовательности трансформант, тем выше качество восстанавливаемого изображения, и тем большее количество вариантов перестройки (рис. 1) обеспечивает алгоритм кодирования. Естественно, что процесс перехода от одного варианта обработки трансформант к другому невозможен в обратном порядке, так как на каждом шаге алгоритма происходит потеря части информации, содержащейся в исходной базовой трансформанте.

На рис. 2 представлена экспериментально полученная зависимость  $K_r$  от количества сформированных зон при их ВЧ объединении для двух исследуемых способов. Анализ полученных результатов свидетельствует о значительно меньших искажениях восстанавливаемых изображений во

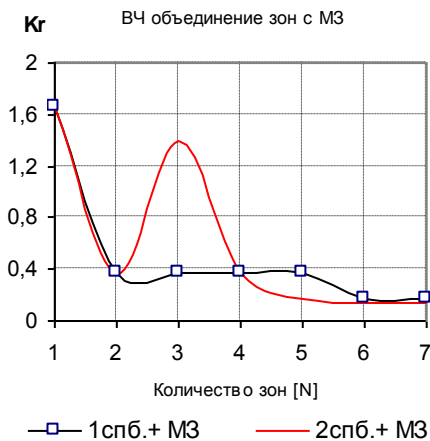


Рис. 2. Взаимосвязь между значением  $K_r$  и количеством зон для 1-го и 2-го способов

всем диапазоне значений  $N$ , чем при использовании варианта  $F_N(U; V) + M3$  (рис. 5) [5].

Как следует из представленных зависимостей, 2-й способ обеспечивает меньшую величину ошибок в восстанавливаемых изображениях на протяжении трех первых шагов ВЧ объединения зон, т.е.  $\tau = 3$  (рис. 1). При  $N = 3$  наоборот, первый способ позволяет получить заметно лучший результат. Поэтому на основе данных базовой матрицы ( $F_7(U; V)$ ) алгоритм кодирования переходит на первый способ обработки трансформант и производит расчет ее новых элементов, соответствующих четвертому шагу ВЧ объединения зон ( $\tau = 4$ , рис. 1). Этот переход в режиме обработки трансформант соответствует четвертому шагу общего алгоритма кодирования ( $\tau_a = 4$ ).

На рис. 3 представлены амплитуды визуально фиксируемых ошибок (пять и более градаций яркости) восстановленных элементов полутонового изображения при использовании 1-го и 2-го способов и трехзонной обработке трансформант ( $N = 3$  рис. 2;  $\tau_a = 4$ ). Варианты а и б (рис. 3, а, б) характеризуют обычное [5] и ВЧ объединение зон для

первого способа формирования ОСКТ. Соответственно варианты в и г характеризуют результаты использования второго способа (рис. 3, в, г).

Как видно из представленных рисунков, благодаря использованию ВЧ объединения (рис. 3, б, г) смежных зон удалось уменьшить количество и амплитуду ошибочно восстанавливаемых элементов изображения.

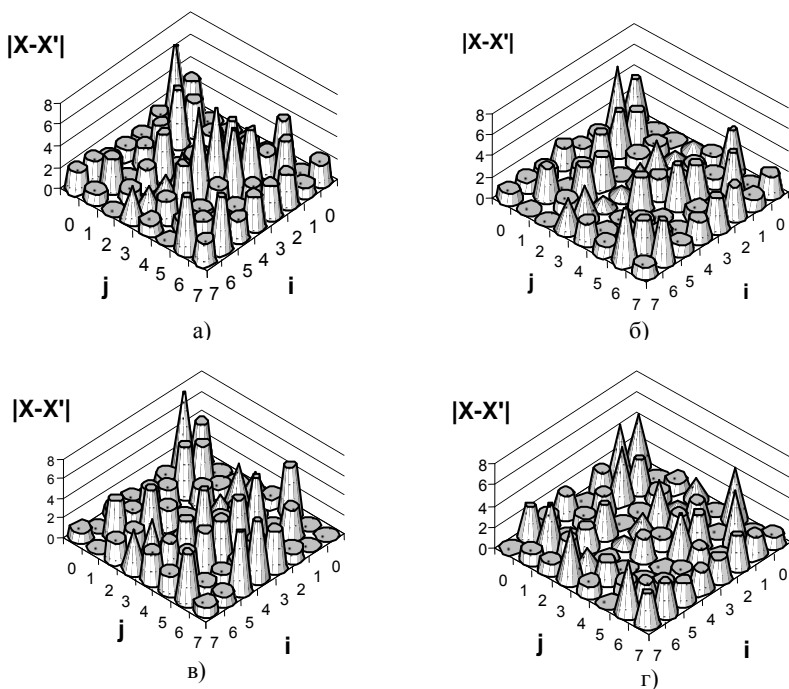


Рис. 3. Величина  $|X-X'|$  для 1-го и 2-го способов

Для реализации указанных выше операций обработки на передающей стороне во временной памяти кодера формируются две базовых матрицы для 1-го и 2-го способов. Далее на основе этой информации осуществляется переход от одного варианта кодирования к другому или смена применяемого способа формирования зон. При этом для всего кадра изображения формируется соответствующий маркер типа проведенной кодером обработки: – размер трансформант; – общее количество трансформант; – способ формирования зон; – количество зон в трансформанте; – состояние МЗ (количество устраненных фазовых составляющих коэффициентов преобразования). При восстановлении из сжатого массива исходной информации проведения расчета базовых матриц не требуется, а восстановление

трансформант ведется в соответствии с информацией, записанной в маркере декодируемого кадра изображения.

**Выводы.** Таким образом, путем изменения порядка объединения сформированных зон трансформант удалось уменьшить визуально заметные искажения восстанавливаемых репродукций. При этом следует особо отметить, что повышения качества восстанавливаемых изображений удалось достичь без увеличения вычислительной сложности всего алгоритма обработки.

**Перспективы исследований.** В перспективе для увеличения степени сжатия изображений при использовании ВЧ объединения смежных зон следует изучить вопрос об устранении из массива матриц знаков всевозрастающего количества фазовых составляющих коэффициентов преобразования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Зубарев Ю.Б., Дворкович В.П. *Цифровая обработка телевизионных и компьютерных изображений*. – М.: МЦНТИ, 1997. – 212 с.
2. Шлихт Г.Ю. *Цифровая обработка цветных изображений*. – М.: ЭКОМ, 1997. – 336 с.
3. Бондарев В.Н., Трестер Г., Чернега В.С. *Цифровая обработка сигналов: методы и средства*. – Х.: Конус, 2001. – 398 с.
4. Прэтт У. *Цифровая обработка изображений*. Т. 1, 2. – М.: Мир, 1985. – 736 с.
5. Малахов С.В., Буханцов А.Д. *Зональное кодирование изображений с различным разбиением пространственно-частотной области // Системы обработки информации*. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2001. – Вып. 4(14). – С. 121 – 125.
6. Королёв А.В., Малахов С.В., Линник Н.Ф. *Модифицированное зональное сжатие изображений при частичном устранении фазовых составляющих спектра // Системы обработки информации*. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2001. – Вып. 5(15). – С. 176 – 180.
7. Королёв А.В., Рубан И.В., Малахов С.В. *Сжатие матрицы знаков при использовании кодирования с преобразованием // ИУСЖТ*. – 1997. – № 3. – С. 12 – 14.

Поступила 14.03.2003

**МАЛАХОВ Сергей Витальевич**, канд. техн. наук, зам. нач. научно-исследовательского отдела научного центра при ХВУ. В 1990 году окончил Харьковское ВВКИУРВ. Область научных интересов – управление и связь, обработка изображений.

**НОВИКОВ Владимир Иванович**, канд. техн. наук, зам. нач. кафедры ХИ ВПС. Окончил в 1983 году ХВВКИУ, в 1994 году – ВА им. Дзержинского. Область научных интересов – системы управления и связи.

**КРЫЖЕВСКИЙ Николай Васильевич**, начальник связи ХВУ. В 1980 году окончил Харьковское ВВКИУРВ. Область научных интересов – сети передачи данных.