

УДК 621.39

А.В. Яковенко,

кандидат технических наук, с.н.с.,

Р.В. Сафронов,**П.М. Гуржий,**

кандидат технических наук

КОДИРОВАНИЕ В НЕРАВНОМЕРНОМ БАЗИСЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ

Разработан метод кодирования трансформант дискретного косинусного преобразования (ДКП), позволяющий производить формирование кода в соответствии с заданными значениями битовой скорости, времени кодирования и качества реконструкции изображения в условиях заданной вычислительной среды.

Ключевые слова: трансформанта ДКП, полиадическое кодирование, битовая скорость, время кодирования.

Розроблено метод кодування трансформант дискретного косинусного перетворення (ДКП), що дозволяє проводити формування коду у відповідності із заданими значеннями бітової швидкості, часу кодування та якості реконструктування зображення в умовах заданого обчислювального середовища.

Ключові слова: трансформанта (ДКП), поліадичне кодування, бітова швидкість, час кодування.

A method of an encoding of the DCC (discrete cosine conversion) transformed segments of an image was developed. It allows the forming of the code in accordance with the given values of a bit speed, encoding time and quality of image reconstruction in the specified computing environment.

Key words: DCC transformed segment of an image, polyadic encoding, bit speed, encoding time.

Основной составляющей трафика в современных телекоммуникационных системах является видео и интегрированная графическая информация. Для организации своевременной доставки потока видеоданных широко применяются методы компрессии, базирующиеся на преобразованиях изображений с последующим кодированием компонент трансформант статистическими кодексами [1–4].

Практическая реализация методов статистического кодирования достигается с использованием таблицы стандартных статистических кодов с заранее известной статистикой, таблицы ссылок (индексом или категорией), расположенных в порядке возрастания частот вхождений, таблицы кодов для коэффициентов трансформанты, известные на приемной и передающей стороне. Код для переупорядоченной последовательности коэффициентов трансформанты формируется путем объединения значения основного кода и дополнительного кода – младших разрядов значения разности коэффициентов до заданной табличной длины итоговой кодовой последовательности.

Однако применяемые методы сжатия недостаточно эффективны при обработке сильнонасыщенных реалистичных изображений и видеопотоков высокого качества, и не удовлетворяют требованиям, которые предъявляются к ним по времени обработки, битовой скорости и качеству восстановления видеоданных.

Значит, совершенствование технологий и методов кодирования трансформированных изображений с целью снижения битовой скорости и сокращения времени кодирования является актуальной научно-прикладной задачей.

Методы статистического кодирования реалистичных изображений обладают рядом существенных недостатков, основные из них заключаются в том, что: применение данных методов для трансформированных изображений не дает возможности определять степень сжатия (битовую скорость) до начала процесса кодирования. До получения кода каждого элемента трансформанты невозможно говорить о величине битовой скорости $(\zeta; \gamma)$ -й трансформанты $w_t^{(\zeta, \gamma)}$, но возможно определить значение средней битовой скорости $\bar{w}_t^{(\zeta, \gamma)}$ для $(\zeta; \gamma)$ -й трансформанты. Кроме того, невозможно заранее оценить значения минимальной и максимальной битовой скорости. Оценивать граничные значения битовой скорости можно в случае отбрасывания заранее известного количества высокочастотных компонент трансформанты. Это приводит к большим потерям качества [3; 4].

При оценке битовой скорости $w_t^{(\zeta, \gamma)}$ необходимо наличие статистики для каждого блока обрабатываемой трансформанты. Использование готовой статистики может дать только средние значения битовой скорости $\bar{w}_t^{(\zeta, \gamma)}$, так как значения кодовых таблиц соответствуют некоторым средним значениям, отличным от реальных данных. При использовании кодовых таблиц, величина $\bar{w}_t^{(\zeta, \gamma)}$ будет весьма условной, так как реальные статистические характеристики неизвестны. Реальные данные, как и реальная битовая скорость $w_t^{(\zeta, \gamma)}$, может сильно отличаться от усредненных значений. Дополнительно необходимо использовать вероятности, что увеличивает время обработки и объем передаваемых данных.

В условиях выбранного кода и заданного режима сжатия, уменьшение длины компактного представления возможно путем квантования или в результате возврата на более ранние этапы обработки. Без переработки (перекодирования), т.е. без возврата на этап квантования, с новым прохождением соответствующих этапов обработки, уменьшить длину сжатого представления данных не представляется возможным. Организация поиска по таблицам, а также реализация кодового преобразования ведет к увеличению временных затрат на выполнение операции кодирования и их существенное усложнение (снижение быстродействия). Параллельная работа статистических кодов для процессов кодирования и декодирования отдельных компонент трансформанты невозможна, поскольку неизвестно расположение элементов в трансформанте.

Таким образом, *цель исследований* заключается в разработке метода кодирования, позволяющего производить формирование кода в соответствии с заданными значениями битовой скорости, времени кодирования и качества реконструкции изображения в условиях, когда вычислительные характеристики ограничены.

Компоненты трансформант ДКП являются интегральными характеристиками структурного содержания блока изображения. Причем интегральные свойства компонент зависят от их положения в трансформанте [4]. Значение компонент изменяются по мере преобладания в изображении различных структурных особенностей.

Физические особенности трансформант ДКП отвечают требованиям полиадических кодов к содержанию обрабатываемых блоков.

Трансформанта $Y^{(\zeta, \gamma)}$ ортогонального преобразования размером $m \times n$ элементов, представленная в виде двумерного массива, элементами которого являются дискретные значения базисных функций:

$$Y^{(\zeta, \gamma)} = \begin{vmatrix} y_{1,1} \cdots y_{1,j} \cdots y_{1,m} \\ y_{i,1} \cdots y_{i,j} \cdots y_{i,m} \\ y_{n,1} \cdots y_{n,j} \cdots y_{n,m} \end{vmatrix},$$

где $y_{i,j}$ – $(i;j)$ -я компонента $(\zeta; \gamma)$ -ой трансформанты сегментированного изображения, в случае одномерной выборки столбца трансформанты образуется одномерное число в неравномерном базисе спектральных коэффициентов $Y^{(\zeta, \gamma)} = \{y_1, \dots, y_i, \dots, y_m\}$.

Одномерным числом в неравномерном базисе спектральных коэффициентов (ЧНБСК) называется одномерная последовательность (одномерный вектор), элементы которой удовлетворяют смешанной системе оснований $\Lambda^{(\zeta, \gamma)} = \{\lambda_1, \dots, \lambda_i, \dots, \lambda_n\}$ [1] в спектральной области

$$y_i \leq \lambda_i - 1, \text{ для } i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где n – количество элементов полиадического числа; λ_i – основание i -го элемента одномерного числа НБСК.

Под одномерной смешанной системой оснований Λ понимается одномерный вектор-столбец, компонентами которого λ_i являются произвольные целые числа конечной размерности. При выборе оснований важно, чтобы выполнялось неравенство (1).

Под одномерным кодированием трансформированного сегмента в НБСК понимается процесс формирования кода $N_i^{(\zeta, \gamma)}$ для i -го столбца $(\zeta; \gamma)$ -й трансформанты ДКП $Y_i^{(\zeta, \gamma)}$ с учетом заданной системы оснований $\Lambda^{(\zeta, \gamma)}$, выбранной для i -го столбца $(\zeta; \gamma)$ -ой трансформанты, т.е.

$$N_i^{(\zeta, \gamma)} = \sum_{i=1}^m y_i \prod_{\eta=i+1}^n \lambda_{\eta}, \quad (2)$$

где $\prod_{\eta=i+1}^n \lambda_{\eta}$ – весовой коэффициент элементу y_i .

Обозначим через $H^{(\zeta, \gamma)}$ вектор-столбец весовых коэффициентов $(\zeta; \gamma)$ -й трансформанты ДКП, $H^{(\zeta, \gamma)} = \{h_1, \dots, h_i, \dots, h_n\}$, элементами которого являются весовые коэффициенты $h_i^{(\zeta, \gamma)}$:

$$h_i^{(\zeta, \gamma)} = \prod_{\eta=i+1}^n \lambda_{\eta}.$$

Под весовым коэффициентом элемента числа НБСК понимается множитель, величина которого указывает на степень значимости позиции, занимаемой данным элементом в кодируемой последовательности. Весовой коэффициент образуется в результате накопленного произведения оснований младших элементов одномерного числа НБСК. Для i -го элемента одномерного числа НБСК младшими элементами будут элементы Y_η , индексы которых равны $\eta = \overline{i+1, n}$. Согласно выражению (2), чем больше индекс позиции, тем меньше значение весового коэффициента.

Если задан вектор весовых коэффициентов $H^{(\zeta, \gamma)}$, то выражение (2) для формирования кода $N_i^{(\zeta, \gamma)}$ одномерному числу $Y_i^{(\zeta, \gamma)}$ в матричной форме примет вид:

$$N_i^{(\zeta, \gamma)} = H^{(\zeta, \gamma)T} Y_i^{(\zeta, \gamma)}, \quad (3)$$

где H^T – транспонированный вектор весовых коэффициентов одномерного числа НБСК

$$H^{(\zeta, \gamma)T} = \left\{ \prod_{\eta=2}^n \lambda_\eta, \dots, \prod_{\eta=i+1}^n \lambda_\eta, \dots, 1 \right\}. \quad (4)$$

Верхней границей h_{\max} значения кода одномерного числа НБСК для заданной системы оснований $\Lambda^{(\zeta, \gamma)}$ является накопленное произведение оснований всех элементов $\prod_{\eta=1}^n \lambda_\eta$:

$$N_{\max}^{(\zeta, \gamma)} < h_{\max} = \prod_{\eta=1}^n \lambda_\eta, \quad (5)$$

где $N_{\max}^{(\zeta, \gamma)}$ – максимально возможное значение кода для заданного вектора оснований $\Lambda^{(\zeta, \gamma)}$, состоящего из элементов.

Код числа НБСК называется кодом в неравномерном базисе спектрального пространства, компоненты которого удовлетворяют смешанной системе оснований. Значение кода может быть представлено десятичным или двоичным (в вычислительной машине) числом.

Схема формирования кода задается следующим образом. На первом этапе кодирования для трансформированного сегмента данных (рис. 1) определяется система оснований $\Lambda^{(\zeta, \gamma)}$, удовлетворяющих ограничениям (1). Это осуществляется путем выбора максимального элемента $\max u_{j_i} + 1$ для j -й строки $(\zeta; \gamma)$ -й трансформанты и последующим увеличением его на единицу. Таким образом, формируются элементы вектора оснований для каждой строки трансформанты.

На втором этапе задается вектор-столбец весовых коэффициентов $H^{(\zeta, \gamma)}$ в соответствии с формулой (4). Число НБСК для трансформанты формируется из элементов столбцов трансформанты в соответствии с выражением (2). Элементы такого числа в результате кодирования последовательно собираются в цепочку, которая далее представляется в двоичной или десятичной форме.

Такая схема кодирования приводит к снижению количества разрядов на кодовое представление массивов видеоданных.

Важным свойством чисел НБСК является возможность вычисления кода для массива данных на основе аналитического выражения. При этом необходимо знать значения элементов массива данных и значения компонент вектора оснований. Поэтому не требуется организовывать формирование таблицы допустимых чисел, и не требуется проводить поиск в таблице необходимого индекса, соответствующего обрабатываемому числу.

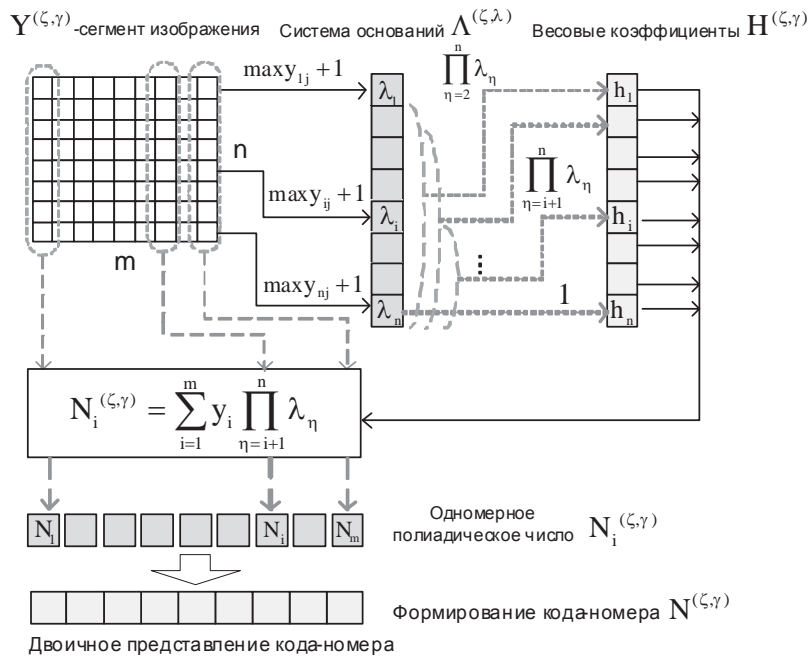


Рис. 1. Схема полиадического кодирования сегмента изображения

Оценка характеристик процесса сжатия трансформированного сегмента изображения, базируется на оценке битовой скорости, оценке величины средне-квадратичного отклонения и количества вычислительных операций на выполнение операций кодирования одной трансформанты изображения.

Под битовой скоростью $w_t^{(\zeta, \gamma)}$ в случае кодирования НБСК для $(\zeta; \gamma)$ -ой трансформанты изображения будем понимать общую длину кодовой комбинации, отводимую на представление сегмента изображения последовательностью кодов.

Для оценки величины битовой скорости $w_t^{(\zeta, \gamma)}$ необходимо определить затраты разрядов на представление кода числа НБСК, образованного на основе i -го столбца $(\zeta; \gamma)$ -й трансформанты ДКП, т.е.

$$w_t^{(\zeta, \gamma)} = \log_2 \left(\sum_{i=1}^m N_i^{(\zeta, \gamma)} \right),$$

где $N_i^{(\zeta, \gamma)}$ – длина кодового представления i -го столбца $(\zeta; \gamma)$ -й трансформанты. Величина битовой скорости i -го столбца $(\zeta; \gamma)$ -й трансформанты ДКП $w_{t,i}^{(\zeta, \gamma)}$ соответствует длине кодового представления $N_i^{(\zeta, \gamma)}$ числа НБСК, образованного для i -го столбца, а именно

$$w_{t,i}^{(\zeta,\gamma)} = \log_2 N_i^{(\zeta,\gamma)}.$$

С учетом выражения (2) и весовых коэффициентов накопленного произведения оснований λ_γ чисел НБСК, выражение битовой скорости для всей трансформанты ДКП примет вид:

$$w_t^{(\zeta,\gamma)} = \log_2 \left(\sum_{k=1}^n y_i \prod_{\gamma=k+1}^m \lambda_\gamma \right).$$

Оценка значения максимальной битовой скорости $w_{t,\max}^{(\zeta,\gamma)}$ (ζ ; γ)-ой трансформанты, не превышает значения накопленного произведения оснований всех элементов, в соответствии с выражением (5):

$$w_{t,\max}^{(\zeta,\gamma)} = \log_2 \left(\prod_{\eta=1}^n \lambda_\eta \right).$$

Оценка потерь качества проводится по критерию среднеквадратичного отклонения значений пикселей исходного сегмента изображения и значений пикселей:

$$\delta^{(\zeta,\gamma)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (Y'_{i,j}^{(\zeta,\gamma)} - X_{i,j}^{(\zeta,\gamma)})^2}{mn}},$$

где $Y'_{i,j}^{(\zeta,\gamma)}$ – восстановленный квантованный сегмент изображения; $X_{i,j}^{(\zeta,\gamma)}$ – исходный сегмент изображения.

Количество машинных операций на кодирование одной трансформанты ДКП определяется затратами на формирование кода одного столбца и зависит от ее размера. Поскольку количество операций и время их выполнения связаны линейной зависимостью, то аналогично, время кодирования одной трансформанты ДКП определяется временем кодирования одного столбца и получением кода числа НБСК для одного столбца, а также размером всей трансформанты ДКП, т.е. количеством столбцов в одном трансформированном сегменте изображения

$$T_K^{(\zeta,\gamma)} = \sum_{i=1}^m t_{ik},$$

где t_{ik} – время кодирования одного столбца трансформанты ДКП.

Сравнительные оценки для методов сжатия по времени на кодирование $T_K^{(\zeta,\gamma)}$ и по суммарному времени T_{var} на обработку и передачу сжатых данных по телекоммуникационным системам приведены соответственно на рис. 2. На диаграмме представлены значения времени обработки изображений размером $Z_A \times Z_B = 576 \times 768$ и $Z_A \times Z_B = 2340 \times 3240$ пикселей, реализованные методами JPEG, JPEG 2000 и с использованием предложенного кодирования трансформант ДКП.

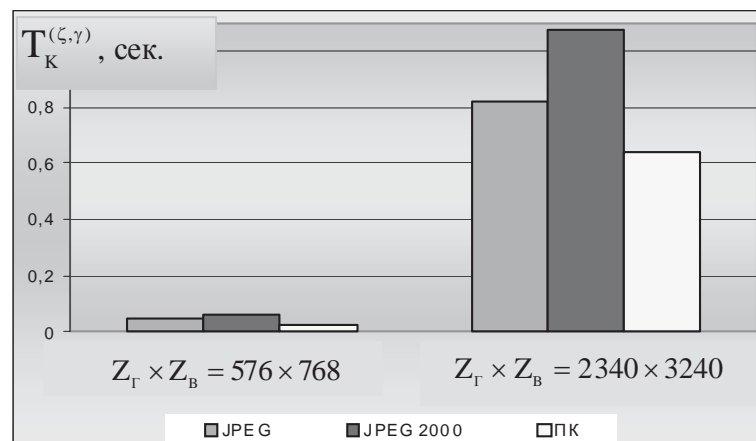


Рис. 2. Зависимость времени $T_K^{(z, \gamma)}$ от размера изображения $Z_T \times Z_B$

Как показывает анализ диаграмм на рис. 2, разработанный метод кодирования трансформант ДКП обеспечивает выигрыш по времени обработки относительно существующих технологий в среднем в 1,5 раза. Выигрыш в основном достигается за счет использования кодирования в НБСК, на выполнение которого отводится меньшее количество операций, чем при применении статистических кодов. Это позволяет осуществлять обработку оцифрованных изображений в реальном времени.

При уменьшении степени насыщенности фрагментов изображений значение суммарного времени T_{var} уменьшается в среднем в 7 раз.

Это обеспечивает снижение битовой скорости и времени обработки изображений для полиадического кодирования трансформант ДКП.

По результатам поведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Обоснована возможность применения метода сжатия изображений на основе кодирования их сегментов в НБСК с использованием ДКП.

2. Трансформанты двумерного дискретного косинусного преобразования изображений соответствуют требованиям кодовых конструкций в НБСК.

3. Определены оценки битовой скорости, времени кодирования и величины потерь для кодов чисел НБСК, образованных на основе трансформант дискретного косинусного преобразования.

4. Дополнительное повышение степени сжатия происходит за счет уменьшения длины кодового представления трансформанты; вследствие адаптивного выбора системы оснований числа НБСК.

5. В ходе исследования информационных характеристик трансформант ДКП, выявлено, что в результате их кодирования в НБСК обеспечивается снижение времени обработки относительно существующих технологий в среднем в 1,5 раза.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : Учебник для вузов / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – СПб. : Питер, 2006. – 958 с.
2. Gonzales R.C. Digital image processing / R.C. Gonzales, R.E. Woods. – Prentice Inc. Upper Saddle River, New Jersey 2002. – 779 p.
3. Баранник В.В. Кодирование трансформированных изображений в инфокоммуникационных системах / В.В. Баранник, В.П. Поляков. – Х. : ХУПС, 2010. – 212 с.
4. Баранник В.В. Метод сжатия изображений на основе неравновесного позиционного кодирования битовых плоскостей / В.В. Баранник, Н.К. Гулак, Н.А. Королева // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2009. – Вип. 1. – С. 55– 61.

Отримано 09.04.2012