

*В.Г. ИВАНОВ*, канд. техн. наук.

*М.Г. ЛЮБАРСКИЙ*, д-р физ.-мат. наук.

*Ю.В. ЛОМОНОСОВ*, канд. техн. наук.

*С.В. ДЕРКАЧ* (г. Харьков)

## **МОДИФИКАЦИЯ АЛГОРИТМОВ JPEG-КОМПРЕССИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

В данной работе приводятся результаты компьютерного моделирования сжатия изображений с использованием стандартного и модифицированного формата JPEG-компрессии. Рассматриваются вопросы повышения надежности при передаче изображений в JPEG-формате. Приведены сравнительные количественные характеристики обработки данных известным и предлагаемым методами.

**Ключевые слова:** сжатие изображений, JPEG-формат, модификация алгоритма.

**Постановка проблемы.** На современном этапе развития информационных технологий и компьютерных систем применение методов JPEG-кодирования изображений связано практически со всем аппаратным и программным обеспечением. Поэтому разработка и создание модифицированных алгоритмов для методов JPEG-кодирования изображений остается актуальной задачей и на сегодняшний день.

**Анализ литературы.** К методам JPEG-кодирования относят любые преобразования изображений с использованием обобщенного преобразования Фурье (дискретного косинусного преобразования (DCT), являющегося базовым для JPEG-компрессии) [1 – 3]. Форматы JPEG-2000 и DjVu используют технологию вейвлет-преобразований, основанную на представлении сигнала в виде суперпозиции специальных функций – волновых пакетов [2 – 7].

Эта работа является логическим продолжением исследований авторов, опубликованных ранее [8].

**Цель статьи** – показать, что применение модифицированного алгоритма распределения косинусных коэффициентов после Z-сканирования сегментов изображения позволяет, при паритетных количественных характеристиках, обеспечить дополнительную защиту закодированного изображения.

**JPEG-компрессия изображений.** Идея замены изображения, как объекта кодирования, коэффициентами его двумерного преобразования Фурье известна давно [1 – 4]. В данном случае изображение подвергается унитарному преобразованию, а полученные коэффициенты преобразования квантуются, кодируются и передаются по каналу связи или записываются в архив.

Обобщенная схема JPEG-кодирования на основе дискретного косинусного преобразования представлена на рис. 1.

Ядро одномерного косинусного преобразования для пункта 3 (рис. 1) имеет следующий вид:

$$L_x(0) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum X(m); \quad L_x(k) = \sqrt{\frac{2}{N}} \sum_{m=0}^{N-1} X(m) \cos \frac{(2m+1)k\pi}{2N}. \quad (1)$$

В этой формуле  $X(m)$  – значение отсчетов в строках соответствующих рабочих матриц, полученных на втором шаге JPEG-технологий;  $L_x(k)$  – коэффициенты дискретного косинусного преобразования, а значения  $m$  и  $k$  изменяются соответственно от 0 до  $N-1$  и от 1 до  $N-1$  с шагом один. Следует заметить, что множество базисных векторов

$$\left\{ \frac{1}{\sqrt{N}}, \sqrt{\frac{2}{N}} \cos \frac{(2m+1)k\pi}{2N} \right\} \quad (2)$$

фактически образует класс дискретных многочленов Чебышева [1, 2].

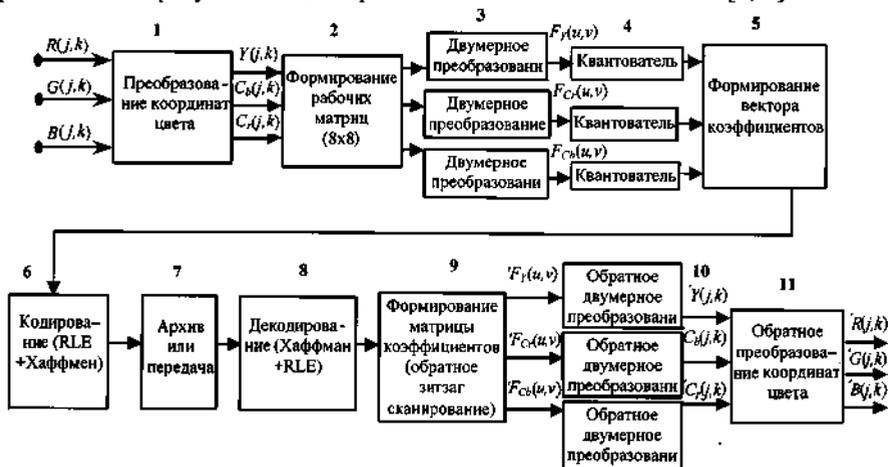


Рис. 1. Обобщенная схема JPEG-кодирования изображений

В стандартном алгоритме компрессии, который используется в JPEG-формате, формирование вектора коэффициентов основано на зигзаг-сканировании (Z-сканирование) отсчетов спектра в каждом фрагменте изображения  $8 \times 8$ , рис. 2.

В дальнейшем последующая обработка ведется в два этапа. Первый этап – это внутриблочная обработка, которая включает отбрасывание последовательности нулевых значений коэффициентов в конце каждого блока, рис. 2, б. Конец блока определяется кодовым словом (КБ) и таким образом уменьшается длина блока ( $n < 64$ ), рис. 3, а.

Второй этап – межблочная обработка, которая состоит в том, что для первых коэффициентов блоков (DC, рис. 3, б) в сформированной последовательности применяют методы дельта-модуляции. Вычисление

разности первых  $DC$ -коэффициентов блоков необходимо для уменьшения их динамического диапазона и, следовательно, для уменьшения битовой последовательности кода. рис. 2. а.

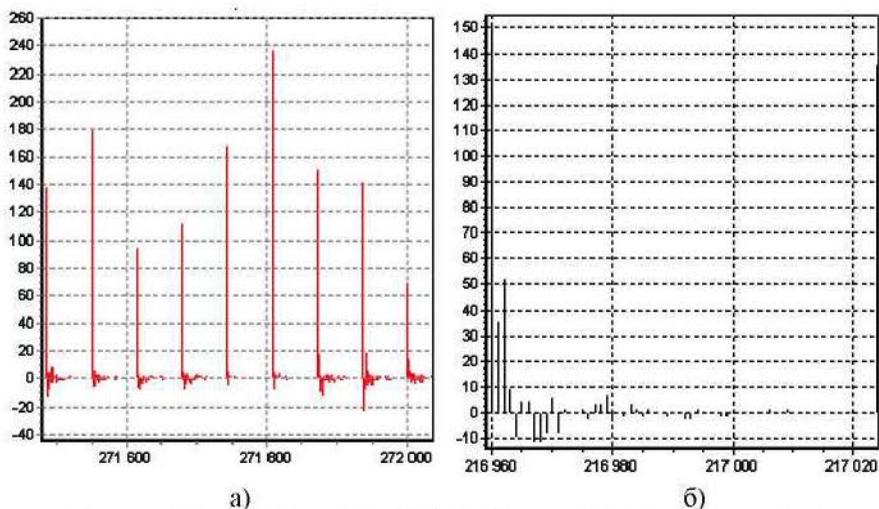


Рис. 2. Формирование вектора  $DCT$  коэффициентов после  $Z$ -сканирования  
(а – распределение коэффициентов между блоками,  
б – распределение коэффициентов внутри блока)

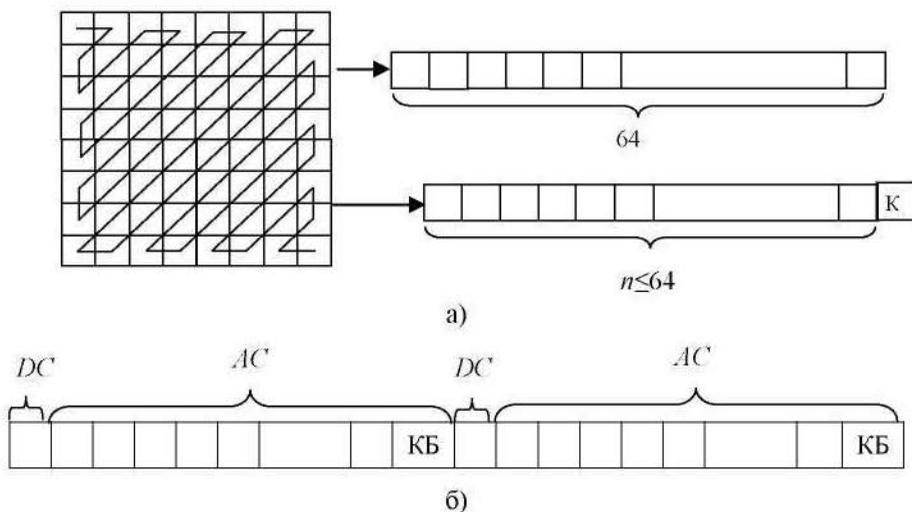


Рис. 3. Формирование вектора  $DCT$  коэффициентов после  $Z$ -сканирования  
(а – внутриблочная обработка, б – межблочная обработка)

Из каждого  $DC$ -коэффициента одного блока вычитается  $DC$ -коэффициент следующего блока. Т.е. вместо  $DC$ -коэффициента 1-го блока (обозначим его как  $DC_1$ ) кодируется разность  $DC$ -коэффициентов 1-го ( $DC_1$ ) и 2-го блоков ( $DC_2$ ), вместо  $DC_2$  – разность  $DC_2$  и  $DC_3$  и т.д.

Таким образом, прямое преобразование можно записать в виде:

$$\begin{aligned} DC_1 &= DC_1 - DC_2, \\ DC_2 &= DC_2 - DC_3, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\dots\dots\dots$$

$$DC_{N-1} = DC_{N-1} - DC_N,$$

где  $N$  – количество блоков. При этом  $DC_N$  остается неизменным (опорный коэффициент), и по нему при обратном преобразовании будут восстановлены  $DC$ -коэффициенты всех блоков.

Обратное преобразование записывается соответственно:

$$\begin{aligned} DC_{N-1} &= DC_{N-1} + DC_N, \\ DC_{N-2} &= DC_{N-2} + DC_{N-1}, \end{aligned} \quad (4)$$

$$\dots\dots\dots$$

$$DC_1 = DC_1 + DC_2,$$

Дальнейшая обработка опирается на использование энтропийных методов кодирования [1, 2].

Полученная разность кодируется в соответствии с таблицей кодов Хаффмана для  $DC$ -коэффициентов. Остальные  $AC$ -коэффициенты блоков не вычитаются, а кодируются в соответствии с таблицей кодов Хаффмана для  $AC$ -коэффициентов.

Необходимо заметить, что в случае утраты или изменения значения опорного коэффициента ( $DC_N$ ), восстановление всех первых коэффициентов в блоках изображения, согласно выражению 4, не представляется возможным. Известно, что наиболее мощные  $DCT$ -коэффициенты в каждом блоке сегментации определяют яркость данного блока. Поэтому изменение значения всего одного  $DC$ -коэффициента в последнем  $N$ -ом блоке будет влиять на значение яркостной составляющей на всем изображении. Данный факт может негативно отразиться на качестве передаваемых изображений, вплоть до полной невозможности их использования.

**Модификация JPEG-формата.** Замена дельта модуляции  $DC$ -коэффициентов в алгоритме компрессии изображений на группирование одноименных  $DCT$ -коэффициентов в блоках сегментации предполагает исключить или максимально локализовать подобные свойства JPEG-формата.

Очевидно, что при разбиении всего изображения, на фрагменты размерностью  $8 \times 8$  (пункт 2, рис. 1), существуют корреляционные связи между одноименными коэффициентами смежных фрагментов, которые также имеют сильные статистические зависимости. Это позволяет заменить процедуру вычисления разности первых  $DC$ -коэффициентов процессом группирования одноименных коэффициентов каждого блока сегментации для всей плоскости изображения.

Таким образом, вектор коэффициентов, поступающий на этап энтропийной обработки JPEG-компрессии, будет содержать сначала все первые коэффициенты всех фрагментов размерностью  $8 \times 8$ , полученных при Z-сканировании, затем все вторые и т.д., рис. 4 (б).

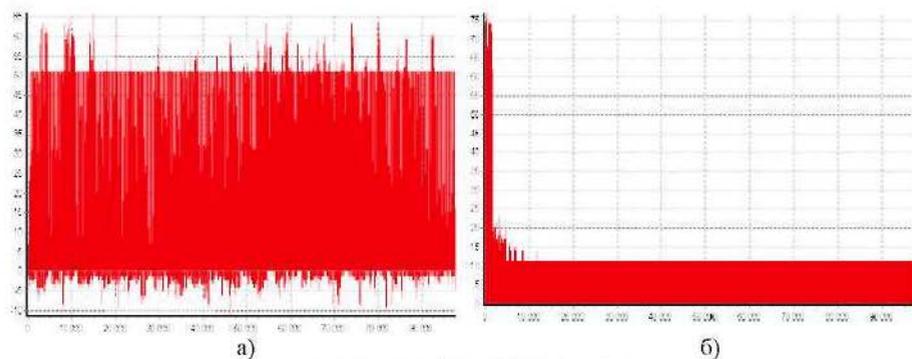


Рис. 4. Вектор коэффициентов

(а – после Z-сканирования; б – после группирования одноименных коэффициентов)

На рис. 5 приведена зависимость коэффициента сжатия (Ксж) от среднеквадратической ошибки (СКО) для изображения Cameraman.bmp, взятого из библиотеки стандартных изображений. В легенде рис. 5, используются следующие обозначения кривых:

- JPEG – классическая схема JPEG-компрессии;
- Group – модифицированный алгоритм JPEG-компрессии;
- JP2000 – формат JP2 на основе вейвлет-преобразования.

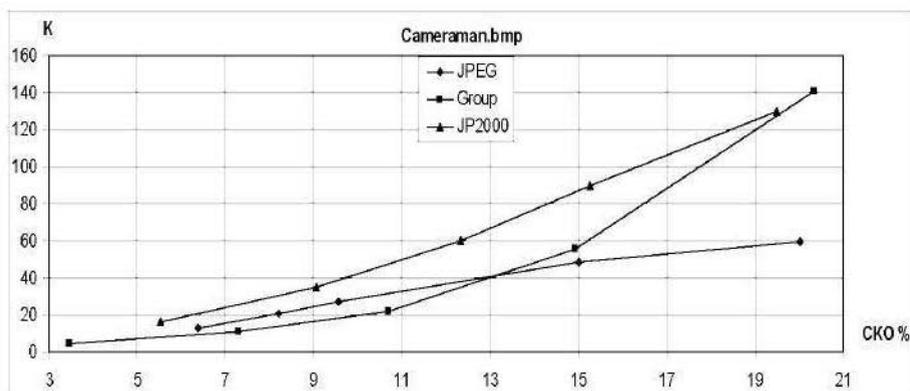


Рис. 5. Зависимость коэффициента сжатия от СКО Cameraman.bmp

На рис. 6 приведены примеры восстановленного изображения для соответствующих значений СКО.

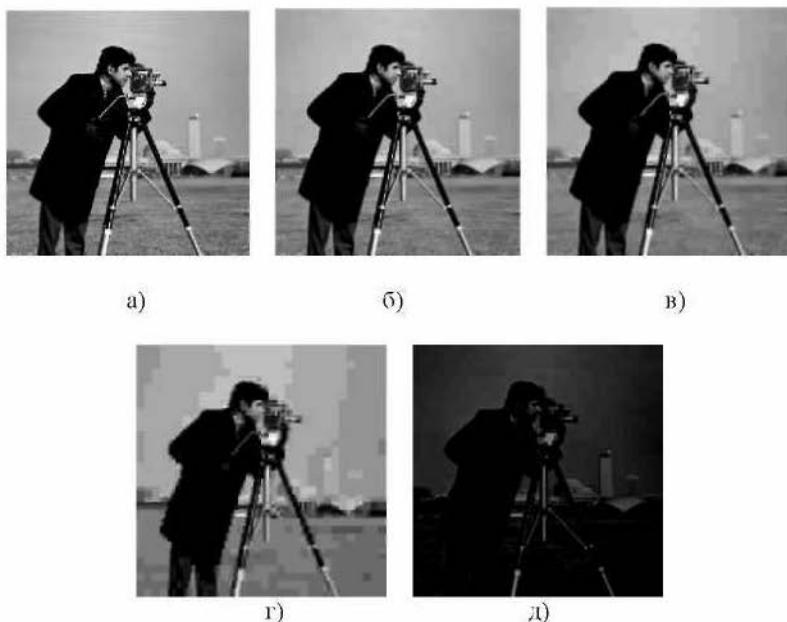


Рис. 6. а) оригинал; б) SKO=6%; в) SKO=10%; г) SKO=15%; д) SKO=75%

**Выводы.** Как видно из полученных результатов, подобная модификация классической схемы JPEG-компрессии, приводит к незначительному снижению коэффициента сжатия при высоком качестве восстановленного изображения (SKO < 13%) и значительно повышает степень сжатия при удовлетворительном качестве восстановленного изображения, SKO > 13%. Однако, основным преимуществом рассмотренной модификации является тот факт, что при утрате первого коэффициента какого-либо блока изменится яркостная составляющая только этого сегмента изображения. В классической схеме JPEG-компрессии "потеря" опорного коэффициента приводит к изменению яркостной компоненты на всей плоскости изображения, рис. 6, д. В результате приведенной модификации формат получает более высокую степень защиты информации при внесении случайных ошибок в низкочастотную область спектра дискретного косинусного преобразования.

**Список литературы:** 1. Претт У. Цифровая обработка изображений / Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – Кн. 2. – 480 с. 2. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с. 3. Уэллсид С. Фракталы и вейвлеты для сжатия изображений в действии: Учеб. пособ. – М.: Триумф, 2003. – 320 с. 4. Сэлмон Д. Сжатие данных, изображений и звука. – М.: Техносфера, 2004. – 368 с. 5. Иванов В.Г., Любарский М.Г., Ломоносов Ю.В. Фурье и вейвлет-анализ изображений в плоскости JPEG технологий // Проблемы управления и информатики. – К., 2004. – № 5. – С. 111-124. 6. Иванов В.Г., Любарский М.Г., Ломоносов Ю.В. Сжатие изображений

на основе компенсации контуров при вейвлет преобразовании // Проблемы управления и информатики. – К., 2006. – № 3. – С. 89–102. 7. *Иванов В.Г., Любарский М.Г., Ломоносов Ю.В.* Сжатие изображений на основе выделения и кодирования объектов с различным визуальным качеством // Праці Восьмої Всеукраїнської міжнародної конференції "Оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів" (УкрОБРАЗ'2006). – К.: Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем, 2006. – С. 159-163. 8. *Иванов В.Г., Ломоносов Ю.В.* Модификация базовых алгоритмов компрессии изображений в JPEG-формате // Праці Луганського відділення Міжнародної академії інформатизації. – Луганськ: Східноукраїнський національний університет ім. В. Дала. 2005. – С.25-29.

УДК 004.627

**Модифікація алгоритмів JPEG-компресії зображень / Иванов В.Г., Любарский М.Г., Ломоносов Ю.В., Деркач С.В. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ", 2008. – № 24. – С. 65 – 71.**

У роботі приводяться результати комп'ютерного моделювання стиску зображень з використанням стандартного і модифікованого формату JPEG-компресії. Розглядаються питання підвищення надійності при передачі зображень у JPEG форматі. Приведено порівняльні кількісні характеристики обробки даних відомим і пропонуваним методами. Іл.: 6. Бібліогр.: 8 назв.

**Ключові слова:** стиск зображень, JPEG-формат, модифікація алгоритму.

UDC 004.627

**Updating of algorithms of a JPEG-compression of images / Ivanov V.G., Lyubarsky M.G., Lomonosov U.V., Derkach S.V. // Herald of the National State University "KhPI". Subject issue: Information science and modelling. – Kharkov: NSU "KhPI", 2008. – № 24. – P. 65 – 71.**

In the given work results of computer modelling of compression of images with use of the standard and modified format of a JPEG-compression are resulted. Questions of increase of reliability are considered by transfer of images in JPEG a format. Comparative quantitative characteristics of data processing known and suggested are resulted by methods. Figs: 6. Refs: 8 titles.

**Key words:** compression of images, a JPEG-format, updating of algorithm.

*Поступила в редакцію 10.04.2008*