

УДК 621.391

А. И. МИРОШНИЧЕНКО, Н. Н. ПОНОМАРЕНКО, В. В. ЛУКИН

*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина***СЖАТИЕ ЗНАКОВ КВАНТОВАННЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДИСКРЕТНОГО КОСИНУСНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ JPEG**

*Изображения, сжатые в соответствии со стандартом JPEG, могут подвергаться дополнительному сжатию без потерь с целью уменьшения объема данных, передаваемых по каналам связи или уменьшения места, занимаемого такими изображениями на носителях данных. При этом изображение частично декодируется до получения квантованных коэффициентов дискретного косинусного преобразования (ДКП) блоков, а затем эти коэффициенты сжимаются каким-либо более эффективным методом. Большинство подобных методов хорошо сжимаются амплитуды коэффициентов ДКП, в то время как знаки коэффициентов ДКП сжимаются незначительно либо не сжимаются вовсе. В данной работе предлагается эффективный метод сжатия знаков квантованных коэффициентов ДКП изображения и между коэффициентами соседних блоков путем формирования соответствующих частотных моделей и их объединения с помощью логистического смешивания. Для тестового набора реальных изображений, сформированных различными цифровыми фотокамерами, показано, что предложенный метод позволяет сжимать знаки коэффициентов ДКП в 1,1 ... 1,3 раза, существенно превосходя по этому показателю ближайшие аналоги.*

**Ключевые слова:** JPEG, дополнительное сжатие JPEG, энтропийное кодирование данных.

**Введение**

Стандарт сжатия JPEG [1] был разработан еще в 1992 году, однако по-прежнему является самым распространенным стандартом сжатия изображений с потерями. Цифровые фотокамеры и смартфоны каждый день генерируют огромное количество изображений в формате JPEG, которые затем передаются в облачные хранилища данных, в социальные сети, помещаются для хранения на различные носители информации. Огромное количество изображений JPEG загружаются из сети Интернет на компьютеры пользователей при просмотре веб-страниц. Поэтому задача уменьшения объема этих изображений путем дополнительного сжатия (без внесения потерь) сохраняет высокую актуальность.

За время, прошедшее со времени разработки стандарта JPEG, разработано большое количество более эффективных методов сжатия изображений с потерями [2-6]. Однако специфика задачи дополнительного сжатия изображений JPEG состоит в том, что в эти изображения нельзя вносить дополнительные потери. Поэтому нельзя декодировать изображение JPEG и сжать более эффективным методом сжатия изображений с потерями, например, стандартом JPEG2000 [2].

Поэтому задача дополнительного сжатия изображений JPEG на практике сводится к задаче более эффективного сжатия квантованных коэффициентов

ДКП блоков изображения. Именно на этапе квантования коэффициентов ДКП в стандарте JPEG в изображения вносятся потери. Все последующие шаги кодирования данных в JPEG потерь не вносят, а поэтому могут быть обращены при дополнительном сжатии и заменены каким-либо более эффективным методом.

В [7] приведен обзор эффективных методов дополнительного сжатия изображений JPEG. Лучшие из них RAQ8 [8] и Stuffit [9] обеспечивают дополнительное сжатие в среднем на 20-25%. При этом метод Stuffit декодирует изображение до квантованных коэффициентов ДКП и сжимает их заново, в то время как метод RAQ8 предсказывает и сжимает поток битов кодирования Хаффмана на выходе стандарта JPEG.

В работе [10] описан метод, использующий для сжатия квантованных коэффициентов ДКП рекурсивное групповое кодирование [11]. Метод, описанный в [12] также декодирует изображение до квантованных коэффициентов ДКП, а затем использует для их сжатия метод, описанный в [13]. При этом отдельно кодируются амплитуды коэффициентов ДКП и их знаки.

Амплитуды и знаки коэффициентов ДКП кодируются отдельно во многих методах сжатия изображений с потерями, основанных на ДКП, например, в методе ADCT [3]. Это связано с тем, что ДКП хорошо декоррелирует значения пикселей изображе-

ний, в результате чего значения коэффициентов ДКП слабо коррелируют друг с другом. Однако амплитуды соседних коэффициентов ДКП блоков имеют сильное подобие, что и используется в стандарте JPEG и таких методах как ADCT для их эффективного сжатия. В то же время считается, что знаки коэффициентов ДКП сложно предсказать. Поэтому, если они и кодируются, например, в методе ADCT, или в методе [14], то коэффициенты сжатия для них являются невысокими. Однако разработка эффективного метода сжатия знаков ДКП является важной составляющей частью задачи дополнительного сжатия изображений JPEG, ведь эти знаки составляют до 20% объема сжатых изображений [3].

Целью данной работы является разработка эффективного метода сжатия знаков коэффициентов ДКП блоков изображения JPEG. Основной идеей метода является предсказание вероятности знака коэффициента ДКП по значениям уже закодированных на данный момент коэффициентов ДКП как данного блока, так и соседних блоков. Для объединения предсказаний по разным коэффициентам предлагается использовать логистическое смешивание [7].

### 1. Описание предлагаемого метода

На рис. 1 для заданного коэффициента ДКП кодируемого блока изображения показаны позиции коэффициентов ДКП, значения которых предлагается использовать для предсказания и сжатия его знака.

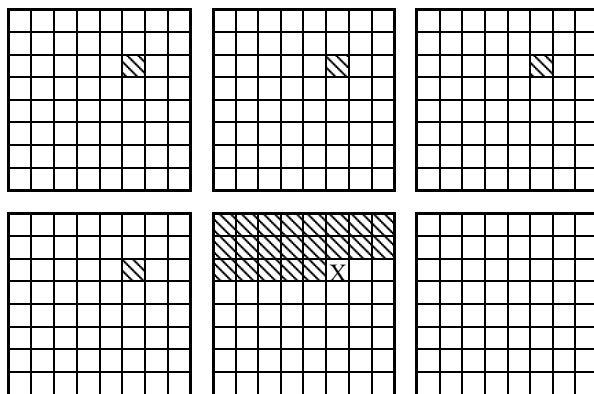


Рис. 1. Заштрихованы позиции коэффициентов ДКП, значения которых могут быть использованы для предсказания знака кодируемого коэффициента ДКП (его позиция обозначена символом "X")

Будем кодировать блоки последовательно по строкам сверху вниз и слева направо в каждой строке. В аналогичном порядке будем кодировать амплитуды коэффициентов в каждом блоке, а затем -

знаки этих коэффициентов. Поэтому при кодировании заданного знака коэффициента, чья позиция отмечена на рис. 1 символом "X", доступными для анализа и учета являются коэффициенты блоков слева и сверху от текущего. Блок же, расположенный справа от текущего, еще не кодировался и, поэтому, его коэффициенты не доступны для анализа.

Пусть  $I_{n,m}(i,j)$  - значение коэффициента ДКП с индексами  $i, j$  в блоке ( $i = 1..8, j = 1..8$ ), в свою очередь имеющем индексы  $n$  (номер блока в строке) и  $m$  (номер блока в столбце).

При предсказании и кодировании знака коэффициента  $I_{n,m}(i,j)$  будем учитывать значения четырех коэффициентов из соседних блоков:  $I_{n-1,m-1}(i,j), I_{n-1,m}(i,j), I_{n-1,m+1}(i,j)$  и  $I_{n,m-1}(i,j)$ .

Кроме того, для каждой позиции  $i,j$  в блоке до начала кодирования найдем три коэффициента с наибольшей корреляцией знаков из заштрихованной области (все коэффициенты со строк  $1..i-1$ , а также коэффициенты с индексами  $1..j-1$  со строки  $i$ ) внутри текущего блока. Позиции этих коэффициентов должны быть запомнены и сохранены в сжатом изображении (для этого потребуется не более  $8 \times 8 \times 3 = 192$  байт).

Таким образом, при предсказании знака коэффициента  $I_{n,m}(i,j)$  будем использовать одновременно семь опорных коэффициентов  $\{\Gamma_1^0, \Gamma_2^0, \dots, \Gamma_7^0\}$ , четыре из которых находятся в соседних блоках, а три - в текущем.

Опишем процесс предсказания знака коэффициента  $I_{n,m}(i,j)$  для заданного опорного коэффициента  $\Gamma_k^0$ .

Таблица 1  
Вычисление номера частотной модели в зависимости от значения  $\Gamma_k^0$

Значение $\Gamma_k^0$	Номер частотной модели
$\leq -64$	1
-63 ... -32	2
-31 ... -16	3
-15 ... -8	4
-7 ... -4	5
-3 ... -2	6
-1	7
0	8
1	9
2 ... 3	10
4 ... 7	11
8 ... 15	12
16 ... 31	13
32 ... 63	14
$\geq 64$	15

Для каждого значения  $\Gamma_k^0$  поставим в соответствие одну из 15 частотных моделей (см. табл. 1).

Обозначим частотную модель как  $F_{ijk}$ . Здесь индексы  $ij$  соответствуют позиции в блоке изображения коэффициента ДКП, чьи знаки предсказываются с помощью данной модели, индекс  $k = 1..7$  соответствует номеру опорного коэффициента ДКП  $\Gamma_k^0$ , а индекс  $t = 1..15$  – номеру частотной модели для значения коэффициента  $\Gamma_k^0$ . Так как имеется 64 комбинации индексов  $ij$ , то общее количество моделей, использующихся при предсказании знаков коэффициентов, составит 6720, что вполне приемлемо с точки зрения расхода памяти.

Каждая частотная модель является массивом, состоящим из двух счетчиков.  $F_{ijkt}(1)$  содержит количество событий, когда коэффициент  $I_{n,m}(i,j)$  был отрицательным.  $F_{ijkt}(2)$  содержит количество событий, когда коэффициент  $I_{n,m}(i,j)$  был положительным. Перед началом кодирования обе ячейки инициализируются единицами.

При кодировании знака коэффициента  $I_{n,m}(i,j)$  выполняются следующие шаги:

1. Анализируются значения опорных коэффициентов  $\{\Gamma_1^0, \Gamma_2^0, \dots, \Gamma_7^0\}$ . По этим значениям с помощью табл. 1 вычисляются значения индексов  $t$  для семи частотных моделей  $\{F_{ij1t}, F_{ij2t}, \dots, F_{ij7t}\}$ .

2. Для каждой из этих семи частотных моделей  $F_{ijkt}$  вычисляется вероятность  $P_k$ , что коэффициент  $I_{n,m}(i,j)$  – отрицательный, в соответствии с выражением

$$P_k = \frac{F_{ijkt}(1)}{F_{ijkt}(1) + F_{ijkt}(2)}. \quad (1)$$

3. Вычисленные семь вероятностей  $P_k$  объединяются в одну вероятность  $P^{int}$  с помощью логистического смешивания (эта процедура будет рассмотрена ниже).

4. Полученная интегральная вероятность  $P^{int}$  передается в бинарный арифметический кодер для сжатия знака коэффициента  $I_{n,m}(i,j)$ .

5. Для каждой из семи частотных моделей  $\{F_{ij1t}, F_{ij2t}, \dots, F_{ij7t}\}$  увеличивается на единицу счетчик, соответствующий знаку коэффициента  $I_{n,m}(i,j)$ .

Рассмотрим теперь процедуру логистического смешивания [7] вероятностей  $P_k$ .

Для каждой позиции  $ij$  коэффициента ДКП в блоке будем хранить массив из семи весов  $w_{ijk}$ . Интегральную вероятность  $P^{int}$  будем вычислять в соответствии с выражением:

$$P^{int} = \delta \left( \sum_{k=1}^7 w_{ijk} \lambda(P_k) \right), \quad (2)$$

$$\lambda(P) = \ln \left( \frac{P}{1-P} \right), \quad \delta(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}.$$

После того, как знак коэффициента  $I_{n,m}(i,j)$  был закодирован, значения весов  $w_{ijk}$  адаптивно изменяются в соответствии с выражением:

$$w_{ijk} = w_{ijk} + \varepsilon(y - P^{int})\lambda(P_k), \quad (3)$$

где  $y = 1$ , если знак коэффициента  $I_{n,m}(i,j)$  был отрицательным,  $y = 0$ , если знак коэффициента  $I_{n,m}(i,j)$  был положительным,  $\varepsilon$  – скорость обучения, равная 0,01 [7].

Перед началом кодирования  $w_{ijk}$  инициализируются единицами. Дополнительно в данной работе при выполнении условия  $i=1 \wedge j<4$  предлагается инициализировать  $w_{ijk}$  значениями  $\{1, 1, 1, 1, 0,25, 0,25, 0,25\}$ . Здесь первые четыре единицы соответствуют опорным коэффициентам  $\Gamma_k^0$ , взятым с четырех соседних блоков, а три значения 0,25 соответствуют опорным коэффициентам  $\Gamma_k^0$  из текущего блока. Если же выполняется условие  $i>2 \wedge j>2 \vee i>7 \vee j>7$ , то  $w_{ijk}$  инициализируются значениями  $\{0,25, 0,25, 0,25, 0,25, 1, 1, 1\}$ . Это позволяет ускорить адаптацию весов и увеличить точность предсказания.

## 2. Сравнительный анализ

На рис. 2 приведен набор тестовых изображений в формате JPEG, который использовался для проверки эффективности предложенного метода. Изображения выбирались по возможности так, чтобы с одной стороны, в наборе были изображения с различными характеристиками (текстуры, однородные участки, мелкие детали, протяженные границы), а с другой стороны, чтобы были представлены различные цифровые фотокамеры (которые могут отличаться особенностями оптики, процедурами обработки изображений перед их сохранением в формате JPEG).

В табл. 2 для каждого тестового изображения приведены названия моделей цифровых камер, а также размер файла изображения, число ненулевых коэффициентов ДКП (знаки которых нужно предсказать и сжать), а также, что важно, доля этих знаков в объеме сжатого JPEG файла. Видно, что знаки коэффициентов ДКП занимают в сжатом файле от 10% до 15% от общего объема файла, что делает их дополнительное сжатие оправданным.

Табл. 3 содержит результаты сжатия знаков тестового изображения "Вокзал".



Рис. 2. Набор тестовых изображений

Таблица 2

Характеристики тестовых изображений и цифровых фотокамер

№	Модель фотоаппарата	Размер файла, МБайт	Число ненулевых коэффициентов ДКП	Доля знаков в сжатом файле, %
1	Canon EOS-1D X	8,76	11211868	15,6
2	Canon EOS-40D	7,442	9014262	14,44%
3	Casio EX-FH100	5,462	6204274	13,54
4	Nikon D810	1,487	1730082	13,87
5	Nikon Df	1,475	1556391	12,58
6	Olympus C765UZ	3,696	3541823	11,42
7	Olympus E-500	5,214	4333982	9,91
8	Olympus XZ-2	4,832	4595926	11,34
9	Olympus XZ-2	6,279	5437935	10,32
10	Panasonic DMC-ZS100	6,501	6403968	11,74
11	Panasonic Lumix-LX20	4,443	4422325	11,87
12	Sony NEX-5N	2,24	2139618	11,39

Для каждой позиции  $ij$  коэффициента  $I_{n,m}(i,j)$  в таблице приведено два значения: количество ненулевых коэффициентов (коэффициентов со знаком) в этой позиции для всего изображения (в тысячах штук), а также КС для этих коэффициентов, обеспечиваемый предложенным методом.

Как видно из данных табл. 3, ПЗПК обеспечивает возможность эффективного сжатия не только для низкочастотных коэффициентов ДКП, но и для высокочастотных коэффициентов.

Таблица 3

Результаты сжатия знаков коэффициентов ДКП тестового изображения "Вокзал"

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-	175 1,12	167 1,10	173 1,13	146 1,38	146 1,31	70 1,72	44 2,31
2	175 1,16	174 1,04	167 1,06	148 1,09	116 1,20	78 1,16	65 1,23	46 1,36
3	168 1,12	167 1,06	156 1,08	119 1,07	72 1,20	34 1,31	27 1,20	20 1,12
4	173 1,19	146 1,10	118 1,08	132 1,08	105 1,09	8,6 1,12	2,2 1,59	7,3 1,08
5	142 1,45	108 1,21	68 1,22	104 1,08	59 2,99	4,5 1,15	1,0 1,22	0,7 0,96
6	148 1,29	74 1,11	37 1,21	85 1,13	6,4 1,36	2,7 1,46	0,4 0,95	0,4 0,97
7	78 2,21	62 1,60	9,3 1,41	2,8 1,44	1,1 1,23	0,4 1,04	0,5 0,91	0,9 0,97
8	53 2,42	6,7 1,40	5,7 1,40	1,6 1,23	1,0 1,26	0,6 1,68	2,0 2,29	0,3 1,29
Коэффициент сжатия для всех знаков: 1,196								

Таблица 4

Результаты сжатия для изображения "Вокзал" с предсказанием только по соседним блокам

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-	1,12	1,10	1,13	1,36	1,19	1,41	1,49
2	1,16	1,03	1,04	1,04	1,15	1,12	1,20	1,33
3	1,12	1,04	1,01	1,00	1,11	1,00	1,03	1,01
4	1,18	1,04	1,01	1,01	1,03	0,99	1,08	0,99
5	1,42	1,15	1,11	1,04	2,90	1,01	0,98	0,92
6	1,27	1,06	1,05	1,11	1,32	1,18	0,84	0,79
7	1,51	1,07	1,03	1,10	1,04	0,86	0,85	0,94
8	1,53	1,09	1,23	1,08	1,11	1,23	2,02	0,85
Коэффициент сжатия для всех знаков: 1,133								

В таблице 4 приведены результаты сжатия знаков коэффициентов ДКП этого же изображения, но только с предсказанием по 4-м опорным коэффициентам соседних блоков.

Сравнение данных табл. 3 и табл. 4 позволяет убедиться в необходимости использования при прогнозе одновременно коэффициентов внутри сжимаемого блока и коэффициентов соседних блоков. Из анализа данных табл. 4 видно, что предсказание только по соседним блокам позволяет эффективно сжимать в основном только знаки низкочастотных коэффициентов ДКП (первая строка и столбец таблицы). Для эффективного сжатия остальных коэффициентов такого ограниченного прогнозирования недостаточно.

В табл. 5 приведены результаты сжатия знаков коэффициентов ДКП этого же изображения, но только с предсказанием по 3-м опорным коэффициентам внутри сжимаемого блока.

Таблица 5

Результаты сжатия знаков тестового изображения "Вокзал" с предсказанием только по коэффициентам ДКП внутри сжимаемого блока

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-	1,00	1,00	1,01	1,08	1,17	1,41	2,03
2	1,00	1,00	1,02	1,05	1,06	1,13	1,18	1,34
3	1,00	1,02	1,06	1,07	1,10	1,31	1,18	1,12
4	1,00	1,06	1,08	1,08	1,06	1,12	1,54	1,08
5	1,09	1,07	1,12	1,05	2,97	1,13	1,24	0,97
6	1,04	1,07	1,18	1,13	1,33	1,45	0,97	0,99
7	1,67	1,56	1,41	1,41	1,22	1,08	0,93	0,99
8	1,97	1,38	1,39	1,22	1,24	1,59	2,31	1,26
Коэффициент сжатия для всех знаков: 1,133								

Из анализа данных табл. 5 видно, что использование только предсказания по внутренним коэффициентам блоков неэффективно для низкочастотных коэффициентов, но эффективно для высоких и средних частот.

Таким образом, совместное предсказание знаков коэффициентов ДКП по коэффициентам как соседних блоков изображения, так и по коэффициентам внутри сжимаемого блока, является оправданным, так как эти предсказания хорошо дополняют друг друга.

Анализ интегральных показателей эффективности предложенного метода производился в сравнении с методом сжатия знаков коэффициентов ДКП, используемом в эффективном коде ADCT [3], который в течение длительного времени обеспечивал наилучшие КС изображений (при фиксированных значениях пикового соотношения сигнал/шум), среди опубликованных в научной литературе.

В табл. 6 приведены КС для предложенного метода предсказания знака по подобным коэффициентам ДКП (ПЗПК) и для метода ADCT. Как видно, значения КС для метода ПЗПК для всех изображений выше, чем для ADCT.

Таблица 6

Сравнение эффективности сжатия знаков коэффициентов ДКП для ПЗПК и ADCT

№	Изображение	КС	
		ADCT	ПЗПК
1	Тигр	1,041	1,132
2	Цветы	1,006	1,086
3	Мегаполис	1,037	1,098
4	Музей	1,006	1,252
5	Радио	1,013	1,143
6	Улитка	1,008	1,147
7	Собаки	1,024	1,141
8	Вокзал	1,058	1,196
9	Указатель	1,119	1,272
10	Облако	1,085	1,163
11	Асфальт	1,011	1,104
12	Закат	1,179	1,293

При этом почти для половины тестовых изображений, в частности для изображений "Цветы", "Музей", "Радио", "Улитка", "Асфальт", метод ADCT является неэффективным, обеспечивая сжатие не более, чем на 1%. В то же время предложенный метод ПЗПК способен сжимать знаки таких изображений на 8...25%.

Для некоторых изображений, таких как "Указатель" и "Закат", метод ADCT обеспечивает существенные КС на уровне 1,12...1,18. Однако и для таких изображений предложенный метод ПЗПК существенно превосходит ADCT, обеспечивая почти в два раза более высокие КС (на уровне 1,27...1,29). Учитывая то, что знаки, например, в тестовом изображении "Закат" составляют чуть больше, чем 11%, от общего объема сжатого файла, дополнительное сжатие их предложенным методом в 1,29 раза позволяет уменьшить объем JPEG-файла примерно на 3%, что является существенным показателем.

## Заключение

Проведенное в работе исследование показывает, что знаки квантованных коэффициентов ДКП изображений JPEG могут быть эффективно предсказаны и сжаты.

Предложенный метод обеспечивает сжатие знаков квантованных коэффициентов ДКП в 1,1...1,3 раза, существенно превосходя по этому показателю метод сжатия знаков, используемый в коде ADCT.

## Литература

1. Wallace, G. *The JPEG Still Picture Compression Standard [Text]* / G. Wallace // *Comm. of the ACM*. – 1991. – Vol. 34. – P. 30-44.

2. Taubman, D. *JPEG 2000: Image Compr. Fundamentals. Standards and Practice [Text]* / D. Taubman, M. Marcellin. – Boston: Kluwer, 2002. – 360 p.

3. ADCTC: *A new high quality DCT based coder for lossy image compression [Electronic resource]* / N. Ponomarenko, V. Lukin, K. Egiazarian, J. Astola. – 80 Min / 700 MB. CD ROM Proceedings of LNLA. – Switzerland, August – 2008. – 6 p. – 1 electronic optical disc (CD-ROM).

4. *Comparison of lossy compression technique performance for real life color photo images [Text]* / Ponomarenko N., Lukin V., Egiazarian K., Delp E. // *Proceedings of Picture Coding Symposium*. – USA. – 2009. – 4 p.

5. *A new image format for the Web [Electronic resource]*. – Access mode: <https://developers.google.com/speed/webp/>. – Access date 10.05.2017. – Title by screen.

6. *BPG [Electronic resource]: BPG Image format, website*. – Access mode: <https://bellard.org/bpg>. – Access date 10.05.2017. – Title by screen.

7. Mahoney, M. *Data Compression Explained [Electronic resource]: M. Mahoney, website*. – Access mode: <http://mattmahoney.net/dc/dce.html>. – Access date 10.05.2017. – Title by screen.

8. Mahoney, M. *The PAQ Data Compression Programs [Electronic resource]: M. Mahoney, website*. – Access mode: <http://mattmahoney.net/dc/dce.html>. – Access date 10.05.2017. – Title by screen.

9. US Patent 7502514, 2005. Gringeler, Y. and Lovato, D., *System and method for lossless compression of already compressed files*.

10. *JPEG сжатие изображений с применением рекурсивного группового кодирования [Текст]* / Н. В. Кожемякина, В. В. Лукин, Н. Н. Пономаренко, А. И. Мирошниченко // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2015. – № 3(73). – С. 77-81.

11. *Пonomаренко, Н. Н. Метод энтропийного рекурсивного группового кодирования [Текст]* / Н. Н. Пономаренко, Н. В. Кожемякина, В. В. Лукин // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2014. – № 3(67). – С. 20-26.

12. *Additional lossless compression of JPEG images [Text]* / N. Ponomarenko, K. Egiazarian, V. Lukin, J. Astola // *Proceedings of 4th Symposium on Image and Signal Processing and Analysis*. – Zagreb, Croatia. – 2005. – P. 117-120.

13. *DCT based high quality image compression [Text]* / N. Ponomarenko, V. Lukin, K. Egiazarian, J. Astola // *Scandinavian Conference on Image Analysis*. – 2005. – P. 1177-1185.

14. *Efficient Scalable DCT Block-based Image Coder with Compression of Signs of DCT Coefficients [Text]* / A. V. Bazhyna, N. N. Ponomarenko, K. O.

Egiazarian, V. V. Lukin // *Telecommunications and Radio Engineering*. – 2008. – Vol. 5(67). – P. 391-412.

## References

1. Wallace, G. *The JPEG StillPicture Compression Standart. Comm. of the ACM*, vol. 34, 1991, pp. 30-44.

2. Taubman, D., Marcellin, M. *JPEG 2000: Image Compr. Fundamentals. Standards and Practice*, Boston: Kluwer Publ., 2002. 360 p.

3. Ponomarenko, N., Lukin V., Egiazarian K., Astola J. *ADCTC: A new high quality DCT based coder for lossy image compression*. – 80 Min / 700 MB. CD ROM Proceedings of LNLA, Switzerland, August, 2008. 6 p. 1 electronic optical disc (CD-ROM).

4. Ponomarenko, N., Lukin V., Egiazarian K., Delp E. *Comparison of lossy compression technique performance for real life color photo images. Proceedings of Picture Coding Symposium*, USA, 2009. 4 p.

5. *A new image format for the Web*. Available at: <https://developers.google.com/speed/webp/> (accessed 10.05.2017).

6. *BPG Image format*. Available at: <https://bellard.org/bpg> (accessed 10.05.2017).

7. Mahoney, M. *Data Compression Explained, website*. Available at: <http://mattmahoney.net/dc/dce.html> (accessed 10.05.2017).

8. Mahoney, M. *The PAQ Data Compression Programs*. Available at: <http://mattmahoney.net/dc/dce.html> (accessed 10.05.2017).

9. Gringeler, Y., Lovato, D. *System and method for lossless compression of already compressed files*. US Patent 7502514, 2005.

10. Kozhemjakina, N. V., Lukin, V. V., Ponomarenko, N. N., Miroshnichenko, A. I. *JPEG szhatie izobrazhenij s primeneniem rekursivnogo grupovogo kodirovaniya [JPEG image compression using recursive group coding]*. *Radioelektronni i komp'uterni sistemi – Radioelectronic and computer systems*, no. 3(73), 2015, pp. 77-81.

11. Ponomarenko, N. N., Kozhemjakina N. V., Lukin V.V. *Metod jentropijjnogo rekursivnogo grupovogo kodirovaniya [Method of entropy recursive group coding]*. *Radioelektronni i komp'uterni sistemi – Radioelectronic and computer systems*, 2014. no. 3(67), pp. 20-26.

12. Ponomarenko, N., Lukin, V., Egiazarian, K., Astola J. *Additional lossless compression of JPEG images. Proceedings of 4th Symposium on Image and Signal Processing and Analysis*, Zagreb, Croatia, 2005, pp. 117-120.

13. Ponomarenko, N., Lukin, V., Egiazarian, K., Astola J. *DCT based high quality image compression, Scandinavian Conference on Image Analysis*, 2005, pp. 1177-1185.

14. Bazhyna, A. V., Ponomarenko, N. N., Egiazarian, K. O., Lukin, V. V. *Efficient Scalable DCT Block-based Image Coder with Compression of Signs of DCT Coefficients. Telecommunications and Radio Engineering*, no. 5(67), 2008, pp. 391-412.

Поступила в редакцію 21.05.2017, рассмотрена на редколлегии 12.06.2017

## СТИСНЕННЯ ЗНАКІВ КВАНТОВАНИХ КОЕФІЦІЄНТІВ ДИСКРЕТНОГО КОСИНУСНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ JPEG

*О. І. Мірошніченко, М. М. Пономаренко, В.В. Лукін*

Зображення, що стиснуто відповідно до стандарту JPEG, можуть бути додатково стиснені без втрат з метою зменшення обсягу даних, що передаються по каналах зв'язку, або зменшення місця, що такі зображення займають на носіях даних. При цьому зображення частково декодують до отримання квантованих коефіцієнтів дискретного косинусного перетворення (ДКП) блоків, а потім ці коефіцієнти стискаються будь-яким більш ефективним методом. Більшістю подібних методів добре стискаються амплітуди коефіцієнтів ДКП, в той час як знаки коефіцієнтів ДКП стискаються несуттєво, або не стискаються зовсім. У даній роботі пропонується ефективний метод стиснення знаків квантованих коефіцієнтів ДКП зображення. Запропонований метод враховує кореляції між коефіцієнтами ДКП всередині блоку зображення, а також між коефіцієнтами сусідніх блоків шляхом формування відповідних частотних моделей та їх об'єднання за допомогою логістичного змішування. Для тестового набору реальних зображень, що сформовано різними цифровими фотокамерами, показано, що запропонований метод дозволяє стискати знаки коефіцієнтів ДКП в 1,1 ... 1,3 рази, суттєво перевершуючи за цим показником найближчі аналоги.

**Ключові слова:** JPEG, додаткове стиснення JPEG, ентропійне кодування.

## COMPRESSION OF SIGNS OF QUANTIZED DISCRETE COSINE TRANSFORM COEFFICIENTS OF JPEG IMAGES

*A. I. Miroshnichenko, N. N. Ponomarenko, V. V. Lukin*

Images compressed in accordance with the JPEG standard may be additionally lossless compressed to reduce the amount of data transmitted over the communication channels or to reduce the space occupied by such images on data storage devices. In this case, a JPEG image is partially decoded to obtain quantized coefficients of the discrete cosine transform (DCT) of image blocks. Then these coefficients are compressed by some more efficient method. Most of such methods are able to efficiently compress amplitudes of the DCT coefficients, while signs of the DCT coefficients are compressed weakly or even are not compressed. In this paper, we propose an effective method of compressing of signs of quantized DCT coefficients of JPEG images. The proposed method takes into account correlation between DCT coefficients inside of an image block as well as between DCT coefficients of neighboring blocks by forming the corresponding frequency models and by combining these models using logistic mixing. For a test set of real JPEG images formed by various digital cameras, it is shown that the proposed method allows to compress signs of DCT coefficients in 1,1 ... 1,3 times, significantly outperforming nearest analogues.

**Keywords:** JPEG, additional JPEG compression, entropy coding .

**Мірошніченко Александр Иванович** - студент каф. приёма, передачи и обработки сигналов, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: smirr72@gmail.com.

**Пonomаренко Николай Николаевич** - д-р техн. наук, доцент, профессор каф. приёма, передачи и обработки сигналов, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: nikolay@ponomarenko.info.

**Лукін Владимир Васильевич** – д-р техн. наук, профессор, заведующий каф. приёма, передачи и обработки сигналов, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: lukin@ai.kharkov.com.

**Miroshnichenko Alexander Ivanovich** - student of Department of Receiving, Transmitting and Processing signals, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine e-mail: smirr72@gmail.com.

**Ponomarenko Nikolay Nikolayevich** - Dr. Tech. Sciences, Associate Professor, Professor of the Department Reception, transmission and signal processing, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: nikolay@ponomarenko.info.

**Lukin Vladimir Vasilevich** – Dr. Tech. Sciences, Associate Professor, Head of the Department Reception, transmission and signal processing, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: lukin@ai.kharkov.com.