

УДК 004.932.2:004.627

А. И. МИРОШНИЧЕНКО

*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

## КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДИСКРЕТНОГО КОСИНУСНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ УЧАСТКОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ

*Рассматривается задача сжатия изображений с потерями на основе дискретного косинусного преобразования (ДКП). Для блоков изображений с размером 8x8 пикселей (соответствует разбиению изображения на блоки в стандарте JPEG) проанализировано наличие корреляции как между разными коэффициентами ДКП одного и того же блока, так и между коэффициентами соседних блоков. Значения корреляций измерялись отдельно для ряда тестовых изображений и затем усреднялись. Показано, что существует большая корреляция между модулями коэффициентов ДКП одного и того же блока изображения, в то время как корреляция между знаками этих коэффициентов практически отсутствует. Показано, что корреляция между коэффициентами ДКП соседних блоков изображений меньше, чем внутри блоков, однако имеется корреляция не только между блоками, но и между знаками коэффициентов. Показано, что положение коэффициента ДКП, у которого корреляция с заданным коэффициентом ДКП будет наибольшей, можно эффективно предсказывать по значению его индексов.*

**Ключевые слова:** дискретное косинусное преобразование, коэффициент корреляции Пирсона, сжатие трафика, сжатие изображений с потерями, JPEG.

### Введение

Телекоммуникации на современном этапе развития постепенно эволюционируют в инфокоммуникации, в которых передача данных сопровождается их анализом и обработкой. Одной из задач такого анализа и обработки является сжатие трафика с целью повышения пропускной способности каналов передачи данных. Актуальность этой задачи обуславливается тем, что рост пропускной способности каналов передачи данных не успевает за ростом объемов передаваемых данных (в основном мультимедийных). Увеличение разрешающей способности регистрирующей аппаратуры, введение новых стандартов для видео, таких как 8k, приводит к увеличению площади сжимаемых изображений (и кадров видео) и, следовательно, к увеличению объема сжатых данных. Это обуславливает необходимость разработки более эффективных методов сжатия изображений и кадров видео, а также дополнительного сжатия (в момент передачи по сети) сжатых изображений и видео.

В последнее время наряду со стандартами сжатия JPEG [1] (основан на ДКП) и JPEG2000 [2] (основан на дискретном вейвлетном преобразовании) был предложен ряд более эффективных методов, таких как ADCT [3], HD Photo[4], сжатие на основе LOT [5], новый стандарт BPG, основанный на видеостандарте HEVC [6] и др. Однако наиболее распространенным на практике остается стандарт JPEG (примерно 90% всех изображений в сети Интернет

сжаты именно этим стандартом). Поэтому для повышения пропускной способности каналов передачи данных за счет сжатия трафика актуальной является задача дополнительного сжатия JPEG-файлов [7]. Первым этапом ее решения является анализ наличия подобия между квантованными коэффициентами ДКП в JPEG-изображениях, который осуществляется в данной работе. Отметим, что ДКП [8] лежит в основе не только стандарта JPEG, но и ряда стандартов сжатия видео и аудио данных.

В работах [3, 7] показано, что существует корреляция по амплитуде между соседними коэффициентами внутри блоков. При этом корреляция (подобие) между коэффициентами соседних блоков в [3] не учитывается из-за больших размеров блоков. В то же время в JPEG изображение разбивается на блоки 8x8 пикселей, для которых эта корреляция может быть существенной. В работе [9] показано, что знаки коэффициентов ДКП блоков можно эффективно предсказывать по значениям знаков других коэффициентов этого блока.

Целью данной работы является анализ корреляции между коэффициентами ДКП как внутри одного блока изображения, так и между соседними блоками и возможности ее учета при сжатии этих коэффициентов.

Также определяется зависимость между значениями индексов заданного коэффициента ДКП и тем, какие именно коэффициенты ДКП этого и соседних блоков изображения целесообразно учитывать при его сжатии.

## 1. Анализ корреляции между коэффициентами ДКП внутри одного блока изображения

В методах дополнительного сжатия изображений JPEG, таких как [7, 9], при кодировании того или иного коэффициента ДКП осуществляется переключение между несколькими частотными моделями. При этом переключение основывается на учете значений тех коэффициентов ДКП, которые обладают наибольшей корреляцией с заданным. Поэтому важно знать между какими коэффициентами корреляция является существенной (и эти коэффициенты необходимо учитывать при переключении между частотными моделями), а для каких коэффициентов она отсутствует (и их можно не учитывать). Анализ, проводимый в данном подразделе, помогает оценить наличие или отсутствие корреляции между коэффициентами одного и того же блока.

Для исследований в данной работе был взят набор из 16 изображений в оттенках серого (каждое 512x512 пикселей) [10], использовавшийся в [3]. Этот набор содержит изображения с различными характеристиками (однородные участки, регулярные и шумоподобные текстуры, малоразмерные и протяженные объекты), а также одно искусственно синтезированное изображение (с различными текстурами и текстом) и одно изображение с рисунками, типичными для мультипликации (рис. 1).

Каждое изображение разобьем на блоки 8x8 пикселей, в каждом из которых выполним ДКП. Обозначим результат выполнения ДКП (значения спектральных коэффициентов ДКП) в блоке изображения как  $D(i,j,k,l)$ , где  $i, j$  - номер блока изображения по вертикали и горизонтали, а  $k, l$  - номера индексов коэффициента ДКП по вертикали и горизонтали внутри блока.

Далее коэффициенты разных блоков изображения с одними и теми же значениями индексов  $k$  и  $l$  объединим в массивы  $V(k,l)$ . Таким образом, для изображений 512x512 пикселей будет сформировано 64 массива  $V(k,l)$  по 4096 коэффициентов ДКП.

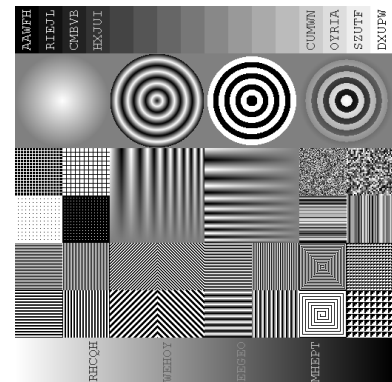


Рис. 1. Примеры изображений с различными характеристиками из используемого в работе тестового набора

Для оценивания уровня корреляции между коэффициентами ДКП будем использовать модуль от корреляции Пирсона:

$$r(x, y) = \frac{\left| \sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \right|}{\sigma_x \sigma_y}, \quad (1)$$

где  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$  - среднеквадратические отклонения в массивах  $x$  и  $y$ .

В соответствии с описанным подходом для того, чтобы оценить корреляцию, например, между коэффициентами с индексами 2,4 и 2,3, необходимо вычислить  $r(V(2,4), V(2,3))$ .

Будем вычислять 16 значений корреляции отдельно для каждого тестового изображения, которые затем усредним.

Таблица 1  
Усредненные  $r(V(k,l), V(k,l-1))$

	l=1	l=2	l=3	l=4	l=5	l=6	l=7	l=8
k=1	-	0,01	0,05	0,08	0,06	0,07	0,08	0,08
k=2	-	0,02	0,02	0,02	0,05	0,05	0,04	0,04
k=3	-	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,02
k=4	-	0,02	0,02	0,03	0,07	0,07	0,02	0,03
k=5	-	0,03	0,02	0,02	0,07	0,07	0,02	0,02
k=6	-	0,02	0,03	0,02	0,06	0,06	0,03	0,02
k=7	-	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,01	0,02
k=8	-	0,02	0,02	0,02	0,05	0,03	0,03	0,03

В таблице 1 приведены значения уровней корреляции между соседними по горизонтали коэффициентами внутри одного и того же блока ДКП.

Из данных таблицы 1 видно, что корреляция между коэффициентами ДКП внутри блоков практически отсутствует. Таблицы для  $r(V(k,l), V(k-1,l))$  и  $r(V(k,l), V(k-1,l-1))$  приводить не будем. Они содержат такие же низкие значения корреляции.

Чтобы оценить корреляцию между модулями разных коэффициентов ДКП одного и того же

блока, об'єднаємо в масиви  $M(k,l)$  модулі  $D(i,j,k,l)$  з одними і тими ж значеннями  $k$  і  $l$ . В таблиці 2 приведені значення рівней кореляції між модулями сусідніх по горизонталі коефіцієнтів одного і того ж блока ДКП.

Таблиця 2  
Усредненные  $r(M(k,l), M(k,l-1))$

	l=1	l=2	l=3	l=4	l=5	l=6	l=7	l=8
k=1	-	0,12	0,47	0,49	0,50	0,50	0,51	0,47
k=2	-	0,35	0,40	0,43	0,46	0,47	0,45	0,44
k=3	-	0,35	0,41	0,43	0,42	0,44	0,43	0,44
k=4	-	0,35	0,40	0,39	0,44	0,43	0,38	0,39
k=5	-	0,35	0,38	0,38	0,43	0,43	0,36	0,36
k=6	-	0,36	0,38	0,38	0,39	0,38	0,35	0,36
k=7	-	0,35	0,35	0,36	0,35	0,32	0,32	0,31
k=8	-	0,34	0,36	0,34	0,33	0,32	0,32	0,30

Здесь уже присутствует заметная корреляция. В таблицах 3 и 4 приведены значения  $r(M(k-1,l), M(k,l-1))$  и  $r(M(k,l), M(k-1,l-1))$ .

По данным таблиц 2-4 можно сделать несколько выводов. Во-первых, для заданного коэффициента существенная корреляция по модулю наблюдается со всеми соседними коэффициентами: по горизонтали, вертикали и диагонали, причем, для низкочастотных коэффициентов она несколько выше, чем для высокочастотных.

Таблиця 3  
Усредненные  $r(M(k,l), M(k-1,l))$

	l=1	l=2	l=3	l=4	l=5	l=6	l=7	l=8
k=1	-	-	-	-	-	-	-	-
k=2	0,11	0,33	0,32	0,35	0,36	0,36	0,35	0,37
k=3	0,46	0,41	0,41	0,40	0,39	0,40	0,37	0,37
k=4	0,48	0,44	0,43	0,39	0,36	0,37	0,36	0,36
k=5	0,51	0,45	0,42	0,43	0,43	0,40	0,35	0,33
k=6	0,48	0,45	0,43	0,43	0,41	0,36	0,33	0,32
k=7	0,47	0,43	0,41	0,38	0,35	0,34	0,34	0,32
k=8	0,44	0,40	0,41	0,39	0,35	0,34	0,32	0,30

Таблиця 4  
Усредненные  $r(M(k,l), M(k-1,l-1))$

	l=1	l=2	l=3	l=4	l=5	l=6	l=7	l=8
k=1	-	-	-	-	-	-	-	-
k=2	-	0,11	0,37	0,39	0,38	0,38	0,36	0,34
k=3	-	0,40	0,47	0,48	0,44	0,44	0,43	0,42
k=4	-	0,39	0,48	0,45	0,43	0,43	0,44	0,39
k=5	-	0,40	0,44	0,42	0,48	0,46	0,39	0,35
k=6	-	0,35	0,42	0,43	0,44	0,39	0,34	0,36
k=7	-	0,35	0,40	0,41	0,37	0,34	0,35	0,35
k=8	-	0,32	0,37	0,38	0,33	0,33	0,33	0,30

Во-вторых, корреляция между коэффициентом блока с индексами  $k=1$  и  $l=1$  (соответствует среднему уровню значений пикселей блока) и остальными коэффициентами блока не высока.

И, наконец, очень важным наблюдением является то, что в зависимости от индексов коэффициента можно предсказать, какой из ближайших коэффициентов (слева, сверху или сверху и слева по диагонали) будет иметь наибольшую корреляцию с ним.

Будем предсказывать значение коэффициента с наиболее высокой корреляцией по отношению к заданному коэффициенту  $D(i,j,k,l)$  в соответствии с выражением:

$$MKK(i, j, k, l) = \begin{cases} \text{нет, } k = 1, l = 1; \\ D(i, j, k - 1, l), & l < 3, k > 1; \\ D(i, j, k, l - 1), & l > k, k < 3; \\ D(i, j, k - 1, l), & k > l + 3; \\ D(i, j, k, l - 1), & l > k + 3; \\ D(i, j, k - 1, l - 1), & \text{иначе.} \end{cases} \quad (2)$$

Объединим в массивы  $V(k,l)$  модули  $MKK(i,j,k,l)$  с одними и теми же значениями  $k$  и  $l$ . Обозначим как ППК (прогнозируемый наиболее подобный коэффициент) усредненные для всех  $k$  и  $l$  значения  $r(M(k,l), V(k,l))$ . Обозначим как ЛК (левый коэффициент), ВК (верхний коэффициент) и ДК (диагональный коэффициент) усредненные значения  $r$  по таблицам 2-4.

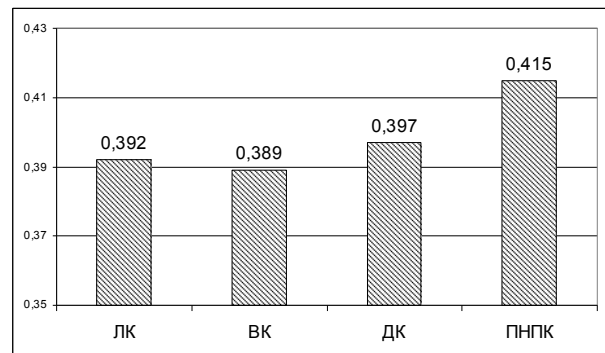


Рис. 2. Средняя корреляция между модулями соседних коэффициентов ДКП внутри блока изображения при различных стратегиях выбора соседнего коэффициента ДКП

Сравним значения ППК, ЛК, ВК, ДК (рис. 2). Видно, что предложенный метод обеспечивает нахождение наилучшей корреляции между модулями соседних коэффициентов ДКП и, что эта корреляция в среднем достигает значения 0,42.

Значение коэффициента блока, имеющего, координаты, вычисленные в соответствии с (2) является наиболее эффективным для использования в переключении между различными частотными моделями при кодировании (сжатии) коэффициента  $D(i,j,k,l)$ .

## 2. Анализ корреляции между коэффициентами ДКП разных блоков изображения

Оценим теперь корреляцию между соседними блоками изображений.

Как и в предыдущем подразделе будем разбивать каждое изображение на блоки 8x8 пикселей, в каждом из которых выполним ДКП.

Для каждого изображения сформируем 4 массива размером 8x8 элементов. Для  $i=2..64$ ,  $j=2..64$  будем в первый М1 массив включать коэффициенты ДКП блока  $D(i,j)$  изображения. Во второй массив М2 будем включать коэффициенты ДКП блока  $D(i-1,j-1)$  (находящегося по диагонали на один блок правее и выше текущего). В третий массив М3 будем включать коэффициенты ДКП блока  $D(i-1,j)$ , находящегося выше данного. В четвертый массив М4 будем включать коэффициенты ДКП блока  $D(i,j-1)$ , находящегося левее данного.

В соответствии с (1) вычислим корреляцию между коэффициентами массивов М1 и М2, М1 и М3, М1 и М4.

В таблицах 5-7 приведены усредненные для 16 тестовых изображений значения корреляции между соответствующими коэффициентами ДКП соседних блоков изображений.

Таблица 5

Корреляция между коэффициентами ДКП блоков  $D(i,j)$  и  $D(i-1,j-1)$

	l=1	l=2	l=3	l=4	l=5	l=6	l=7	l=8
k=1	0,71	0,07	0,06	0,03	0,08	0,03	0,04	0,08
k=2	0,05	0,08	0,07	0,07	0,07	0,05	0,06	0,05
k=3	0,04	0,08	0,07	0,06	0,03	0,04	0,04	0,04
k=4	0,06	0,06	0,08	0,08	0,06	0,06	0,05	0,04
k=5	0,07	0,07	0,04	0,06	0,07	0,07	0,02	0,07
k=6	0,06	0,04	0,05	0,06	0,07	0,07	0,07	0,04
k=7	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,06	0,08	0,06
k=8	0,07	0,05	0,03	0,06	0,07	0,03	0,07	0,07

Таблица 6

Корреляция между коэффициентами ДКП блоков  $D(i,j)$  и  $D(i-1,j)$

	l=1	l=2	l=3	l=4	l=5	l=6	l=7	l=8
k=1	0,82	0,47	0,31	0,24	0,20	0,21	0,20	0,18
k=2	0,10	0,21	0,22	0,19	0,17	0,13	0,10	0,09
k=3	0,06	0,10	0,12	0,11	0,08	0,10	0,10	0,11
k=4	0,09	0,08	0,09	0,10	0,10	0,08	0,07	0,08
k=5	0,08	0,08	0,04	0,10	0,11	0,10	0,05	0,08
k=6	0,09	0,07	0,07	0,09	0,11	0,11	0,11	0,08
k=7	0,06	0,05	0,05	0,06	0,05	0,08	0,08	0,07
k=8	0,09	0,05	0,05	0,07	0,08	0,07	0,08	0,10

Как видно из данных табл. 5-7, у коэффициента  $D(i,j,1,1)$  есть высокая корреляция с аналогичными

коэффициентами всех соседних блоков (0,71, 0,82 и 0,80).

Таблица 7

Корреляция между коэффициентами ДКП блоков  $D(i,j)$  и  $D(i,j-1)$

	l=1	l=2	l=3	l=4	l=5	l=6	l=7	l=8
k=1	0,80	0,17	0,08	0,07	0,09	0,03	0,06	0,08
k=2	0,40	0,23	0,10	0,09	0,08	0,06	0,06	0,04
k=3	0,25	0,22	0,13	0,11	0,04	0,05	0,06	0,05
k=4	0,21	0,17	0,12	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07
k=5	0,19	0,15	0,08	0,11	0,11	0,08	0,05	0,10
k=6	0,18	0,08	0,09	0,09	0,09	0,07	0,09	0,09
k=7	0,14	0,08	0,07	0,05	0,06	0,09	0,11	0,11
k=8	0,14	0,08	0,08	0,07	0,11	0,06	0,11	0,12

Анализ данных табл. 5 показывает, что корреляция между остальными коэффициентами блока с аналогичными коэффициентами блока, лежащего от него по диагонали, практически отсутствует.

В то же время анализ табл. 6 показывает, что у всех коэффициентов первой строки и части коэффициентов второй строки присутствует существенная (выше 0,2) корреляция с коэффициентами блока, лежащего выше на изображении.

Аналогично в соответствии с данными, приведенными в табл. 7, для коэффициентов первого столбца и части коэффициентов второго столбца присутствует существенная корреляция с коэффициентами блока, лежащего слева на изображении.

Учет этих зависимостей может привести к существенному увеличению степени сжатия при кодировании коэффициентов ДКП, особенно их знаков.

В таблицах 8-10 приведены корреляции между коэффициентами ДКП блоков изображения, однако без учета знаков этих коэффициентов.

Таблица 8

Корреляция между модулями коэффициентами ДКП блоков  $D(i,j)$  и  $D(i-1,j-1)$

	l=1	l=2	l=3	l=4	l=5	l=6	l=7	l=8
k=1	0,71	0,21	0,21	0,22	0,23	0,21	0,19	0,20
k=2	0,21	0,24	0,25	0,24	0,24	0,23	0,22	0,18
k=3	0,21	0,25	0,26	0,24	0,23	0,25	0,22	0,20
k=4	0,21	0,24	0,24	0,26	0,25	0,25	0,23	0,21
k=5	0,22	0,23	0,23	0,25	0,25	0,24	0,20	0,20
k=6	0,21	0,22	0,23	0,23	0,24	0,23	0,22	0,18
k=7	0,18	0,20	0,20	0,21	0,20	0,21	0,20	0,17
k=8	0,19	0,20	0,17	0,19	0,19	0,18	0,17	0,17

Как видно из данных табл. 8-10, корреляция между модулями коэффициентов ДКП соседних блоков в целом выше, чем между коэффициентами со знаком. Поэтому целесообразным является отдельное кодирование (сжатие) знаков коэффициентов (с учетом табл. 5-7) и их модулей (с учетом табл. 2-4 и 8-10).

Таблица 9

Корреляция между модулями коэффициентами ДКП блоков  $D(i,j)$  и  $D(i-1,j)$

	l=1	l=2	l=3	l=4	l=5	l=6	l=7	l=8
k=1	0,82	0,51	0,49	0,46	0,45	0,44	0,41	0,39
k=2	0,23	0,33	0,36	0,39	0,39	0,37	0,35	0,33
k=3	0,24	0,29	0,31	0,34	0,33	0,34	0,33	0,32
k=4	0,24	0,27	0,28	0,31	0,32	0,31	0,31	0,30
k=5	0,25	0,26	0,28	0,29	0,30	0,29	0,27	0,27
k=6	0,25	0,25	0,27	0,26	0,28	0,28	0,26	0,25
k=7	0,22	0,24	0,24	0,24	0,23	0,23	0,23	0,21
k=8	0,21	0,22	0,22	0,21	0,21	0,20	0,20	0,20

Таблица 10

Корреляция между модулями коэффициентами ДКП блоков  $D(i,j)$  и  $D(i,j-1)$

	l=1	l=2	l=3	l=4	l=5	l=6	l=7	l=8
k=1	0,80	0,23	0,22	0,25	0,26	0,24	0,22	0,24
k=2	0,46	0,32	0,28	0,27	0,27	0,25	0,24	0,20
k=3	0,46	0,36	0,31	0,28	0,26	0,25	0,23	0,21
k=4	0,43	0,37	0,31	0,31	0,29	0,27	0,24	0,22
k=5	0,40	0,36	0,32	0,32	0,30	0,28	0,23	0,23
k=6	0,40	0,34	0,33	0,30	0,29	0,26	0,25	0,21
k=7	0,36	0,33	0,30	0,27	0,25	0,26	0,23	0,22
k=8	0,34	0,30	0,28	0,27	0,25	0,22	0,22	0,23

Особенно высока она для коэффициента с индексом (1,1), для которого корреляция внутри блока вообще не оценивалась (так как он кодируется первым в блоке). Эти коэффициенты, фактически, содержат значения средних уровней яркости пикселей в каждом блоке, и их эффективное кодирование является важным для обеспечения эффективности дополнительного сжатия изображений JPEG.

### Заклучение

В работе для набора тестовых изображений проанализирована корреляция между коэффициентами ДКП, как внутри блока изображения 8x8 пикселей, так и между соседними блоками. Предложен метод прогнозирования позиции наиболее подобного коэффициента ДКП для заданной позиции кодируемого коэффициента.

Показано, что корреляция между модулями коэффициентов ДКП выше внутри блока, но корреляция между знаками коэффициентов ДКП выше для соседних блоков.

Проведенный анализ может служить основой совершенствования методов дополнительного сжатия изображений, закодированных с помощью стандарта JPEG. Перспективным также является исследование зависимостей между квантованными значениями коэффициентов ДКП для разных таблиц квантования.

### Литература

- Wallace, G. K. *The JPEG Still Picture Compression Standard [Text]* / G. K. Wallace // *Comm. Of the ACM*. - 1991. - Vol. 34, N 4. - P. 30-44.
- Taubman, D. *JPEG 2000: Image Compression Fundamentals, Standards and Practice [Text]* / D. Taubman, M. Marcellin. - Boston : Kluwer, 2002. - 800 p.
- ADCTC: *A new high quality DCT based coder for lossy image compression [Text]* / N. Ponomarenko, V. Lukin, K. Egiazarian, J. Astola // *Proceedings of International Workshop on Local and Non-Local Approximation in Image Processing (LNLA)*. - Switzerland, August, 2008. - 6 p.
- HD Photo [Electronic resource]: HD Photo format overview, website*. - Access mode: [https://msdn.microsoft.com/ruru/library/windows/desktop/gg430023\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ruru/library/windows/desktop/gg430023(v=vs.85).aspx). - Access date 30.11.2016. - Title by screen.
- Tran, T. *A lapped transform progressive image coder [Text]* / T. Tran, T. Nguyen // *Proceedings of the IEEE International Symposium on Circuits and Systems*. - Vol. 4, June, 1998. - P. 1-4.
- Overview of the High Efficiency Video Coding (HEVC) Standard [Text]* / G.J. Sullivan, J.-R. Ohm, W.-J. Han, and T. Wiegand // *IEEE Transactions of Circuits and Systems for Video Technology*. - Dec. 2012. - Vol. 22, No. 12. - P. 1649-1668.
- 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*. - Croatia, September, 2005. - P. 117-120.
- Rao, K. *Discrete Cosine Transform, Algorithms, Advantages, Applications [Text]* / K. Rao, P. Yip. - Academic Press, 1990. - 512 p.
- Ponomarenko, N. N. *Prediction of signs of DCT coefficients in block-based lossy image compression [Text]* / N. N. Ponomarenko, A. V. Bazhyna, K. O. Egiazarian // *Proc. of the SPIE conf. Image Processing: Algorithms and Systems V*. - 2007. - Vol. 6497. - 4 p.
- ADCTC software and set of test images [Electronic resource]: ADCTC: a new high quality dct based coder for lossy image compression, website*. - Access mode: <http://www.ponomarenko.info/adct.htm>. - Access date 30.11.2016. - Title by screen.

### References

- Wallace, G. K. *The JPEG Still Picture Compression Standard*. *Comm. Of the ACM*, vol. 34, no. 4, 1991, pp. 30 - 44.
- Taubman, D., Marcellin, M. *JPEG 2000: Image Compression Fundamentals, Standards and Practice*. - Boston, Kluwer Publ., 2002. 800 p.
- Ponomarenko, N., Lukin, V., Egiazarian, K., Astola, J. *ADCTC: A new high quality DCT based coder for lossy image compression*. *Proceedings of Interna-*

tional Workshop on Local and Non-Local Approximation in Image Processing (LNLA). – Switzerland, August – 2008. – 6 p.

4. HD Photo format overview. Available at: <https://msdn.microsoft.com/ruru/library/windows/desktop/gg430023> (accessed 30.11.2016).

5. Tran, T., Nguyen. T. A lapped transform progressive image coder. *Proceedings of the IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, vol. 4, June – 1998, pp. 1 - 4.

6. Sullivan, G.J., Ohm, J.-R., Han, W.-J., Wiegand T. Overview of the High Efficiency Video Coding (HEVC) Standard. *IEEE Transactions of Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 22, no. 12, 2012, pp. 1649 - 1668.

7. Ponomarenko, N., Egiazarian, K., Lukin, V., Astola, J. Additional lossless compression of JPEG im-

ages. *Proceedings of 4th Symposium on Image and Signal Processing and Analysis*. – Croatia, September. – 2005. – pp. 117 - 120.

8. Rao, K., Yip, P. Discrete Cosine Transform, Algorithms, Advantages, Applications. – Academic Press. – 1990. – 512 p.

9. Ponomarenko, N.N., Bazhyna, A.V., Egiazarian, K.O. Prediction of signs of DCT coefficients in block-based lossy image compression. *Proceedings of the SPIE conference Image Processing: Algorithms and Systems V*, vol. 6497, USA, January, 2007, 4 p.

10. ADCT: a new high quality dct based coder for lossy image compression. Available at: <http://www.ponomarenko.info/adct.htm>. (accessed 30.11.2016).

*Поступила в редакцію 30.11.2016, рассмотрена на редколлегии 09.12.2016*

## КОРЕЛЯЦІЙНИЙ АНАЛІЗ КОЕФІЦІЕНТІВ ДИСКРЕТНОГО КОСИНУСНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ДІЛЯНОК ЗОБРАЖЕНЬ

*О. І. Мірошніченко*

Розглянуто задачу стиснення зображень з втратами на основі дискретного косинусного перетворення (ДКП). Для блоків зображень з розміром 8x8 пікселів (відповідає розбиттю зображення на блоки в стандарті JPEG) проаналізовано наявність кореляції, як між різними коефіцієнтами ДКП одного і того ж блоку, так і між коефіцієнтами сусідніх блоків. Значення кореляцій вимірювалися окремо для ряду тестових зображень і потім усереднювалися. Показано, що існує велика кореляція між модулями коефіцієнтів ДКП одного і того ж блоку зображення, в той час як кореляція між знаками цих коефіцієнтів є практично відсутньою. Показано, що кореляція між коефіцієнтами ДКП сусідніх блоків зображень є меншою, ніж усередині блоків, однак присутня помітна кореляція не тільки між блоками, а й між знаками коефіцієнтів. Показано, що положення коефіцієнта ДКП, для якого кореляція із заданим коефіцієнтом ДКП буде найбільшою, можна ефективно прогнозувати за значенням його індексів.

**Ключові слова:** дискретне косинусне перетворення, коефіцієнт кореляції Пірсона, стиснення трафіку, стиснення зображень з втратами, JPEG.

## CORRELATION ANALYSIS OF DISCRETE COSINE TRANSFORM COEFFICIENTS OF IMAGE BLOCKS

*О. І. Miroshnichenko*

Task of lossy image compression based on discrete cosine transform (DCT) is considered. For image blocks having size 8x8 pixels (it corresponds to division of images on blocks in JPEG standard) presence of correlation between different DCT coefficients of the same block as well as between coefficients of different blocks is analyzed. Values of correlation coefficients are calculated and averaged for set of test images. It is shown that there is substantial correlation between absolute values of DCT coefficients of the same block, while correlation between signs of the coefficients is insignificant. It is shown also that correlation between DCT coefficients of adjacent blocks is smaller than the one for coefficients of the same block. At the same time there are noticeable correlations not only for absolute values but also for signs of coefficients. It is shown that position of DCT coefficient with maximum correlation with given coefficient can be effectively predicted using its indices.

**Key words:** discrete cosine transform, Pearson correlation, traffic compression, lossy image compression, JPEG

**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.

**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.