

УДК 621.397

## О КОРРЕЛЯЦИИ СПЕКТРАЛЬНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ОБОБЩЕННЫХ РЯДОВ ФУРЬЕ В ДИСКРЕТНОЙ ОБЛАСТИ

*Радченко Ю.С., д.ф.-м.н., профессор кафедры радиофизики, Воронежский государственный университет, e-mail: ysradchenko@yandex.ru*

*Миляев С.В., аспирант кафедры радиофизики, Воронежский государственный университет, e-mail: sergey.milyaev@mail.ru*

**Ключевые слова:** обработка изображений, сжатие сигналов, ортогональные дискретные преобразования, корреляция спектральных коэффициентов, неравномерная сетка отсчетов.

### Введение

Сжатие цифровых изображений и видео основывается на дискретных ортогональных преобразованиях сигналов и последующей обработке полученных спектров. Различные дискретные преобразования обеспечивают разную степень декорреляции спектральных коэффициентов, что влияет на степень сжатия изображений и видео. С другой стороны корреляция спектральных коэффициентов в различных блоках позволяет использовать внутрикадровый прогноз для сокращения информационного потока на выходе кодера сигнала. Кроме того, знание величины корреляции спектральных мод необходимо для расчета количества информации в обрабатываемом изображении, позволяющего оценить близость характеристик реального кодера к теоретическому пределу.

Среди различных блочных дискретных преобразований сигналов с равномерной сеткой отсчетов наибольшее распространение получили косинусное и целочисленное псевдокосинусное преобразования [1]. Вместе с тем, было разработано дискретное полиномиальное преобразование, одним из вариантов которого является дискретное чебышевское преобразование GDCT [2, 3], использующее неравномерную сетку отсчетов.

Общее выражение для внутриблочной корреляционной матрицы спектральных коэффициентов для дискретных преобразований с равномерной сеткой приведено в [4]. Однако, расчет корреляционных моментов для спектральных коэффициентов разных блоков, а также расчет внутриблочной и межблочной корреляции спектральных мод при неравномерной сетке отсчетов остался открытым. Данная работа посвящена решению этой задачи.

### Расчет внутриблочной корреляции

Рассмотрим одномерный сигнал, заданный на дискретном множестве отсчетов:

$$S_i = S_{0i} + \sigma \cdot X_i, \quad i = 1..N, \quad (1)$$

где  $S_{0i}$  – детерминированная величина,  $\sigma$  – СКО случайного отсчета,  $X_i$  – случайная величина, распре-

*Выполнен расчет коэффициента корреляции спектральных коэффициентов дискретного косинусного преобразования, псевдокосинусного преобразования, дискретного чебышевского преобразования, внутри одного блока и между соседними блоками изображения. Проанализированы зависимости нормированных коэффициентов внутриблочной и межблочной корреляции спектральных коэффициентов от величины интервала корреляции. Показано, что дискретное чебышевское преобразование обеспечивает большую декорреляцию коэффициентов по сравнению с дискретным косинусным преобразованием. Полученные результаты были экспериментально подтверждены оценкой корреляции спектральных мод на реальном изображении.*

ленная по нормальному закону:

$$X_i \sim N(0,1), \quad \langle X_i \cdot X_j \rangle = R(j-i).$$

Для конкретизации расчетов используем корреляционную функцию, которая применяется для описания гауссовских марковских процессов:

$$R(j-i) = \exp\left(-|j-i| \cdot \frac{\Delta\tau}{\tau_0}\right) = \rho^{|j-i|}, \quad \rho = \exp\left(-\frac{\Delta\tau}{\tau_0}\right), \quad (2)$$

здесь  $\tau_0$ ,  $\Delta\tau$  – параметры корреляционной функции.

Пусть  $\{\varphi_k(i)\}$  – ортогональный векторный базис, определяющий матрицу дискретного ортогонального преобразования. Тогда спектральные коэффициенты разложения дискретного сигнала по этому базису будут иметь следующий вид:

$$C_k = \sum_{i=1}^N \varphi_k(i) \cdot S_i = \sum_{i=1}^N \varphi_k(i) \cdot S_{0i} + \sigma \cdot \sum_{i=1}^N \varphi_k(i) \cdot X_i, \quad (3)$$

где  $N$  – число дискретных отсчетов сигнала (1). Рассмотрим вначале статистические свойства спектральных коэффициентов дискретных отсчетов сигналов, заданных на равномерной сетке. С такими векторами отсчетов работают дискретное преобразование Фурье, дискретное косинусное и псевдокосинусное преобразование, дискретное преобразование Уолша-Адамара и ряд других.

В случае дискретного косинусного преобразования различные спектральные коэффициенты для одного блока будут выражаться следующим образом:

$$C_k = \gamma \cdot \sum_{i=1}^N S_i \cdot \cos\left(\pi \cdot k \cdot \frac{i-0.5}{N}\right) = \gamma \cdot M_k + \gamma \cdot \sigma \cdot \xi_k, \quad (4)$$

здесь  $\gamma$  – нормировочная константа ДКП,  $k = 0..N-1$ ,

$$M_k = \sum_{i=1}^N S_{0i} \cos\left(\pi \cdot k \cdot \frac{i-0.5}{N}\right),$$

$$\xi_k = \sum_{i=1}^N X_i \cos\left(\pi \cdot k \cdot \frac{i-0.5}{N}\right) \quad (5)$$

- детерминированная и случайная составляющие спектрального коэффициента.

Выражение для дисперсии случайной составляющей спектральных коэффициентов имеет вид:

$$D(\xi_k) = \left\langle \left( \sum_{i=1}^N X_i \cdot \cos\left(\pi \cdot k \cdot \frac{i-0.5}{N}\right) \right)^2 \right\rangle = \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \rho^{|j-i|} \cdot \cos\left(\pi \cdot k \cdot \frac{i-0.5}{N}\right) \cdot \cos\left(\pi \cdot k \cdot \frac{j-0.5}{N}\right)$$

Корреляционный момент случайных компонент  $\xi_k$  и  $\xi_m$  будет выглядеть следующим образом:

$$K_{dct}(k, m) = \langle \xi_k \cdot \xi_m \rangle =$$

$$= \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N R(j-i) \cos\left(\pi \cdot k \cdot \frac{i-0.5}{N}\right) \cdot \cos\left(\pi \cdot m \cdot \frac{j-0.5}{N}\right) =$$

$$= \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \rho^{|j-i|} \cos\left(\pi \cdot k \cdot \frac{i-0.5}{N}\right) \cdot \cos\left(\pi \cdot m \cdot \frac{j-0.5}{N}\right). \quad (7)$$

Общее выражение для нормированного коэффициента корреляции между спектральными коэффициентами одного блока имеет вид:

$$R_{dct}(k, m) = \frac{K_{dct}(k, m)}{\sqrt{D(\xi_k) \cdot D(\xi_m)}}. \quad (8)$$

На рис. 1а и 1б представлены графики зависимости нормированного коэффициента корреляции спектральных коэффициентов четных и нечетных мод как функции коэффициента корреляции соседних отсчетов сигнала  $\rho$  для дискретного косинусного преобразования  $8 \times 8$ .

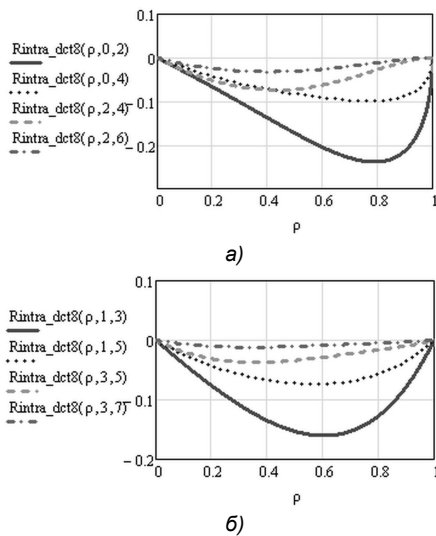


Рис. 1. Графики зависимости нормированного коэффициента корреляции спектральных коэффициентов внутри блока сигнала от корреляции соседних отсчетов сигнала для дискретного косинусного преобразования, а) – для четных мод, б) – для нечетных мод

Расчеты показывают, что взаимная корреляция между четными и нечетными коэффициентами отсутствует. Наблюдается некоторая корреляция только между ближайшими четными или нечетными коэффициентами. С увеличением разности  $|k - m|$  взаимная корреляция становится пренебрежимо малой. Наибольший коэффициент корреляции между спектральными коэффициентами одного блока не превосходит по модулю 0.25 – 0.3.

В современных алгоритмах сжатия видео широкое применение находит псевдокосинусное целочисленное дискретное преобразование для блоков размера  $4 \times 4$ , матрица преобразования которого имеет следующий вид [5]:

$$H = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & -1 & -2 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -2 & 2 & -1 \end{pmatrix}.$$

Графики нормированного коэффициента корреляции для спектральных коэффициентов целочисленного ДКП показаны на рис. 2. На рис. 2а изображена зависимость нормированного коэффициента корреляции нулевой моды и первой (сплошная линия) и нулевой моды и второй (пунктирная линия). На рис. 2б изображена зависимость нормированного коэффициента корреляции первой моды и третьей. На обоих графиках точечными линиями отмечены зависимости нормированного коэффициента корреляции для дискретного косинусного преобразования.

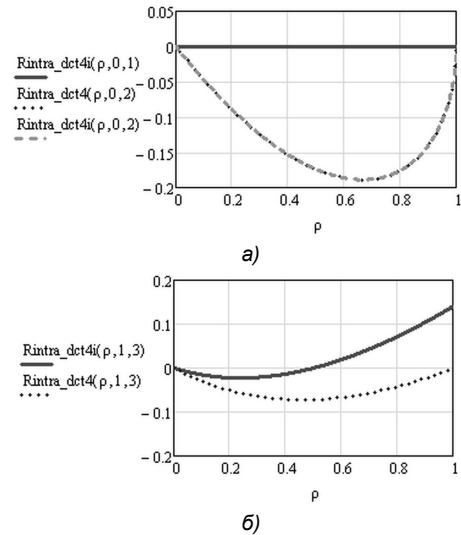


Рис. 2. Графики зависимости нормированного коэффициента корреляции спектральных коэффициентов внутри блока сигнала от корреляции соседних отсчетов сигнала для целочисленного дискретного псевдокосинусного преобразования, а) – для четных мод, б) – для нечетных мод

Закономерности в поведении корреляционных моментов от номера спектральных коэффициентов псевдокосинусного и косинусного преобразований, в целом, аналогичны. Имеет место некоторое различие численных значений  $R_{km}(\rho)$ , а также отличие в поведении кривых при  $\rho \rightarrow 1$ .

Рассмотренные выше случаи относились к дискретным преобразованиям сигналов, отсчеты которых выполнены по равномерной сетке. Однако возможны ортогональные преобразования, для которых сетка отсчетов берется неравномерной [2, 3, 6, 7]. Одним из таких преобразований с неравномерной дискретизацией является чебышевское преобразование – GDCT [2, 3].

Прямое и обратное преобразование GDCT определяется соотношениями

$$C = [C_{mk}] = \Phi S, S = \Psi^T C, \quad (9)$$

где матрицы прямого и обратного чебышевского преобразования имеют вид

$$\Phi = \sqrt{\frac{2}{N}} \begin{bmatrix} \sqrt{0.5} \\ \cos\left(\pi m \frac{(i+0.5)}{N}\right) \\ \vdots \\ \sqrt{0.5} \end{bmatrix}, \quad \Psi = \sqrt{\frac{2}{N}} \begin{bmatrix} \sqrt{0.5} \\ \cos\left(m \cdot \arccos\left(\frac{2n-1}{L-1}\right)\right) \\ \vdots \\ \sqrt{0.5} \end{bmatrix}. \quad (10)$$

$i = 0..N-1, m = 0..M-1 \leq (N-1), n = 0..L-1, N$  – число сэмплов (вторичных отсчетов) сигнала,  $N \leq L, L$  – размер исходного и восстановленного блока. Дискретные чебышевские отсчеты сигнала (сэмплы) образуют вектор  $S = [s_i] = [s(x_i)], i = 0..N-1$ . Точки чебышевских отсчетов формируются по закону

$$x_i = 0.5 \cdot (L-1) \cdot \left(1 + \cos\left(\pi \frac{(i+0.5)}{N}\right)\right) \quad (11)$$

GDCT (чебышевское) преобразование требует перехода от первичной равномерной дискретизации сигнала с шагом  $\Delta\tau$  к неравномерному сэмплингованию по закону расположения нулей полинома Чебышева  $T_N(z)$ :

$z_i = \cos\left(\pi \frac{(i+0.5)}{N}\right), i = 0..(N-1)$  [2, 3]. В этом случае расположение сэмплов на интервале определения сигнала задается законом  $x_i = (L-1)\Delta\tau \frac{(1+z_i)}{2}$ . В таком

случае корреляционная матрица сэмплов внутри блока сигнала принимает вид

$$R_{i,j} = \rho^{|i-j|} \left[ 0.5(L-1) \left( \cos\left(\pi \frac{i+0.5}{N}\right) - \cos\left(\pi \frac{j+0.5}{N}\right) \right) \right]. \quad (12)$$

Здесь параметр  $\rho$  аналогичен введенному в (2). GDCT коэффициенты определяются выражением

$$C_k = \gamma \sum_{i=0}^{N-1} S_i \cos\left(\pi k \frac{i+0.5}{N}\right) = \gamma M_k + \gamma \sigma \xi_k, \quad (13)$$

которое аналогично (4) с тем отличием, что сэмплы  $S_i$  вычислены в точках  $x_i$ .

Моментные функции случайной компоненты спектра имеют вид

$$\langle \xi_k \rangle = 0,$$

$$D(\xi_k) = \left\langle \left( \sum_{i=0}^{N-1} X_i \cos\left(\pi k \frac{i+0.5}{N}\right) \right)^2 \right\rangle =$$

$$\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} R_{i,j} \cos\left(\pi k \frac{i+0.5}{N}\right) \cos\left(\pi k \frac{j+0.5}{N}\right). \quad (14)$$

Внутриблочная корреляция GDCT мод определяется моментом

$$K_{gdct}(k, m) = \langle \xi_k \xi_m \rangle = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} R_{i,j} \cos\left(\pi k \frac{i+0.5}{N}\right) \cos\left(\pi m \frac{j+0.5}{N}\right) \quad (15)$$

Соответственно нормированный коэффициент внутриблочной корреляции равен

$$R_{gdct}(k, m) = K_{gdct}(k, m) / \sqrt{D(\xi_k)D(\xi_m)}.$$

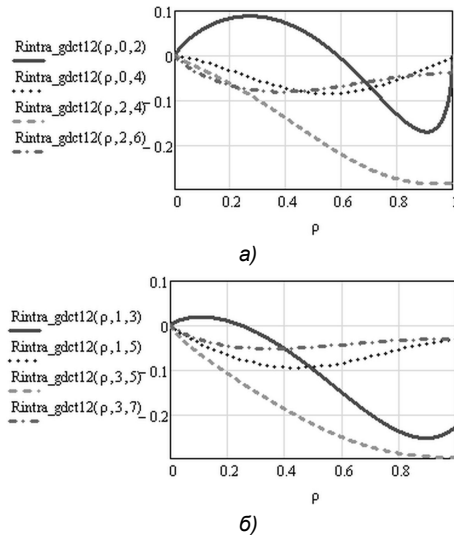


Рис. 3. Графики зависимости нормированного коэффициента корреляции спектральных коэффициентов внутри блока сигнала от корреляции соседних отсчетов сигнала для дискретного чебышевского преобразования, а) – для четных мод, б) – для нечетных мод

На рис. 3а и 3б представлены графики зависимости нормированного коэффициента корреляции спектральных коэффициентов четных и нечетных мод как функции коэффициента корреляции соседних отсчетов сигнала  $\rho$  для дискретного чебышевского преобразования при отношении  $L/N = 12/8$ . Из представленных на рис. 3 графиков видно, что GDCT обеспечивает большую декорреляцию коэффициентов преобразования по сравнению с ДКП. По сравнению с ДКП может иметь место, для ряда спектральных коэффициентов, особенность в поведении  $R_{km}(\rho)$  при  $\rho \rightarrow 1$ . Эта особенность обусловлена тем, что при  $\rho \rightarrow 1 D(\xi_k) \rightarrow 0, K_{km} \rightarrow 0$ . Раскрытие неопределенности в нормированном коэффициенте корреляции типа 0/0 может привести к небольшим конечным значениям. У спектральных коэффициентов GDCT, так же как и при ДКП, четные и нечетные моды не коррелированы между собой. Небольшая корреляция имеет место только между ближайшими четными или нечетными спектральными коэффициентами.

### Расчет межблочной корреляции

Исследуем теперь случай межблочной корреляции спектральных коэффициентов для различных видов дискретных преобразований. Пусть задан сигнал  $S_i$ , имеющий вид (1). В случае дискретного косинусного преобразования спектральные коэффициенты для соседних

блоков будут выражаться следующим образом:

$$C_k = \gamma \cdot \sum_{i=1}^N S_i \cdot \cos(\pi \cdot k \cdot \frac{i-0.5}{N}) =$$

$$= \gamma \cdot M_k + \gamma \cdot \sigma \cdot \xi_k \quad (16)$$

$$C_m = \gamma \cdot \sum_{i'=1+N}^{2 \cdot N} S_{i'} \cdot \cos(\pi \cdot m \cdot \frac{i'-0.5}{N}) =$$

$$= \gamma \cdot M_m + \gamma \cdot \sigma \cdot \eta_m$$

Здесь  $\gamma, \sigma$  аналогичны введенным выше,

$$M_k = \sum_{i=1}^N S_0(i) \cdot \cos(\pi \cdot k \cdot \frac{i-0.5}{N}),$$

$$M_m = \sum_{i'=1+N}^{2N} S_0(i') \cdot \cos(\pi \cdot m \cdot \frac{i'-0.5}{N}) \quad (17)$$

– детерминированные составляющие,

$$\xi_k = \sum_{i=1}^N X_i \cdot \cos(\pi \cdot k \cdot \frac{i-0.5}{N}),$$

$$\eta_m = \sum_{i'=1+N}^{2N} X_{i'} \cdot \cos(\pi \cdot m \cdot \frac{i'-0.5}{N}) \quad (18)$$

– случайные составляющие спектральных коэффициентов. В предположении о стационарности последовательностей  $X_i$  в пределах обоих блоков, дисперсии случайных составляющих имеют вид, определяемый формулой (6).

Взаимная корреляционная функция для случайных компонент  $\xi_k$  и  $\eta_m$  будет выглядеть следующим образом:

$$K_{dct}^{inter}(\xi, \eta) =$$

$$= \sum_{i=1}^N \sum_{j=1+N}^{2N} \rho^{|j-i|} \cdot \cos(\pi \cdot k \cdot \frac{i-0.5}{N}) \cdot \cos(\pi \cdot m \cdot \frac{j-0.5}{N}) =$$

$$= \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \rho^{|N+j-i|} \cdot \cos(\pi \cdot k \cdot \frac{i-0.5}{N}) \cdot \cos(\pi \cdot m \cdot \frac{j-0.5}{N}) \quad (19)$$

Общий вид выражения для коэффициента корреляции между спектральными коэффициентами соседних блоков определяется соотношением (8).

На рис. 4а и 4б представлены графики зависимости коэффициента корреляции между одинаковыми модами и между четными и нечетными модами соседних блоков от параметра корреляционной функции  $\rho$  для ДКП 8×8. Из графиков видно, что с ростом номера моды коэффициент корреляции быстро убывает. Так наиболее значимым, кроме коэффициента корреляции  $C_0$ , является коэффициент корреляции  $C_1$ , однако даже он имеет значения меньше 0.3. Таким образом, межблочной корреляцией всех коэффициентов, кроме  $C_0$ , на практике можно пренебречь. Особый интерес представляет нулевой спектральный коэффициент  $C_0$  разложения (16), который пропорционален нормированной сумме всех элементов вектора дискретного сигнала, и искажения которого при передаче наиболее сильно сказываются впоследствии на восстановленном сигнале. Из графика на рис. 4а видно, что при значениях параметра  $\rho$  меньших 0,8 коэф-

фициент корреляции нулевых спектральных коэффициентов соседних блоков не превосходит 0,3, что, как принято считать на практике, соответствует отсутствию линейной зависимости между этими величинами. Из рис. 4а следует, что межблочное предсказание DC коэффициента  $C_0$  имеет смысл только при значении коэффициента межпиксельной корреляции  $\rho \geq 0.9$ .

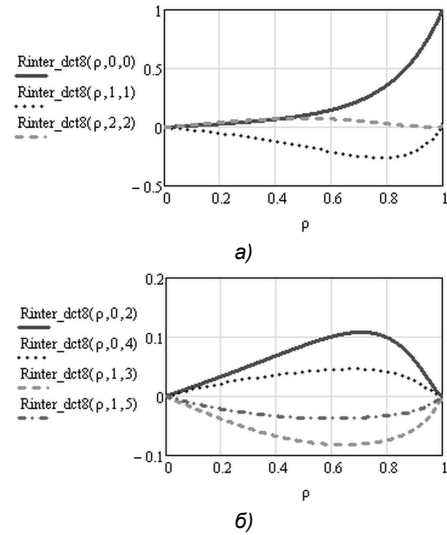


Рис. 4. Графики зависимости нормированного коэффициента корреляции спектральных коэффициентов между соседними блоками сигнала от корреляции соседних отсчетов сигнала для дискретного косинусного преобразования,

а) – для одинаковых мод, б) – для четных и нечетных мод

Графики нормированного коэффициента корреляции спектральных мод соседних блоков для спектральных коэффициентов целочисленного ДКП показаны на рис. 5. На рис. 5а изображена зависимость нормированного коэффициента корреляции одинаковых мод для соседних блоков. На рис. 5б изображена зависимость нормированного коэффициента корреляции между четными и нечетными модами соседних блоков.

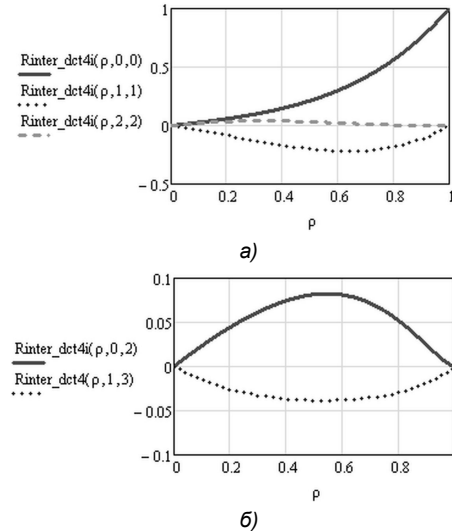


Рис. 5. Графики зависимости нормированного коэффициента корреляции спектральных коэффициентов между соседними блоками сигнала от корреляции соседних отсчетов сигнала для целочисленного дискретного косинусного преобразования,

а) – для одинаковых мод, б) – для четных и нечетных мод

При рассмотрении преобразования GDCT корреляционная матрица сэмплов между соседними блоками принимает следующий вид:

$$R(j, i) = \rho \left| 0.5(L-1) \left( \cos\left(\pi \frac{i+0.5}{N}\right) - \cos\left(\pi \frac{j+0.5}{N}\right) \right) + L \right|, \quad i, j = 0..N-1. \quad (20)$$

Межблочная корреляция GDCT мод соседних блоков определяется моментом

$$K_{gdct\ km}(\xi, \eta) = \langle \xi_k \eta_m \rangle = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} R(i, j) \cos\left(\pi k \frac{i+0.5}{N}\right) \cos\left(\pi m \frac{j+0.5}{N}\right). \quad (21)$$

Соответственно нормированный коэффициент межблочной корреляции равен

$$R_{gdct}^{inter}(k, m) = K_{gdct\ km}(\xi, \eta) / \sqrt{D(\xi_k)D(\eta_m)}, \quad (22)$$

где  $D(\xi)$  и  $D(\eta)$  определяются выражением (14).

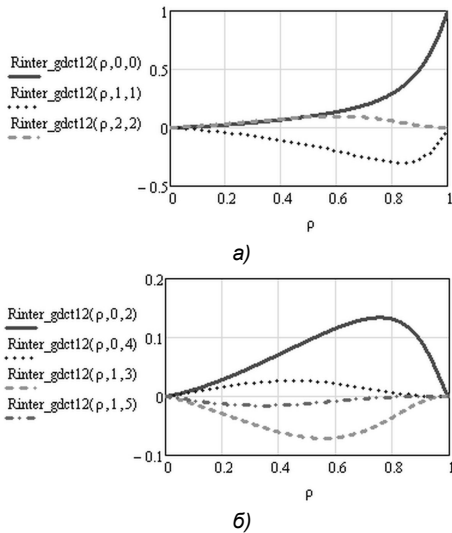
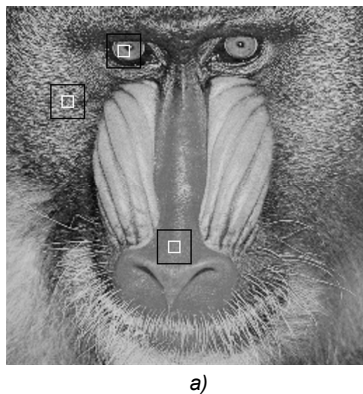
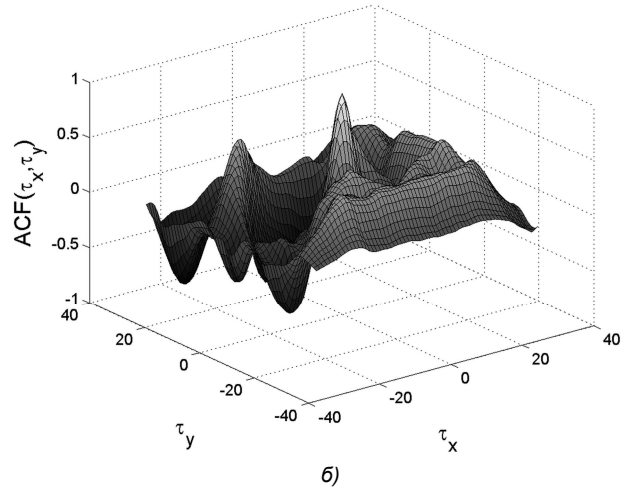


Рис. 6. Графики зависимости нормированного коэффициента корреляции спектральных коэффициентов между соседними блоками сигнала от корреляции соседних отсчетов сигнала для дискретного чебышевского преобразования, а) – для одинаковых мод, б) – для четных и нечетных мод

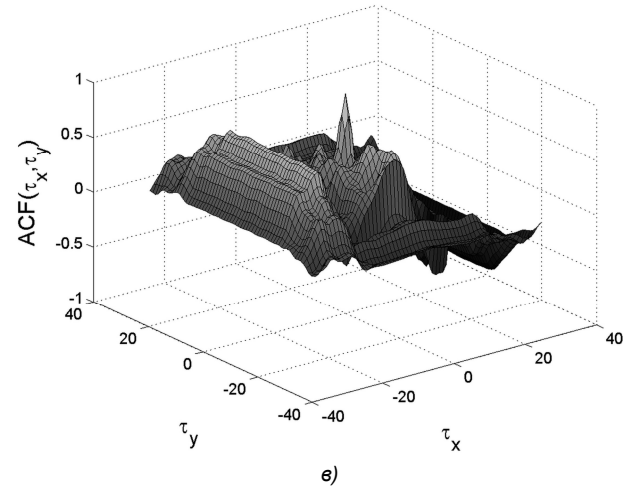
На рис. 6а и 6б представлены графики зависимостей коэффициента корреляции между одинаковыми модами и между четными и нечетными модами соседних блоков от параметра корреляционной функции  $\rho$  для преобразования GDCT при отношении  $L / N = 12 / 8$ .



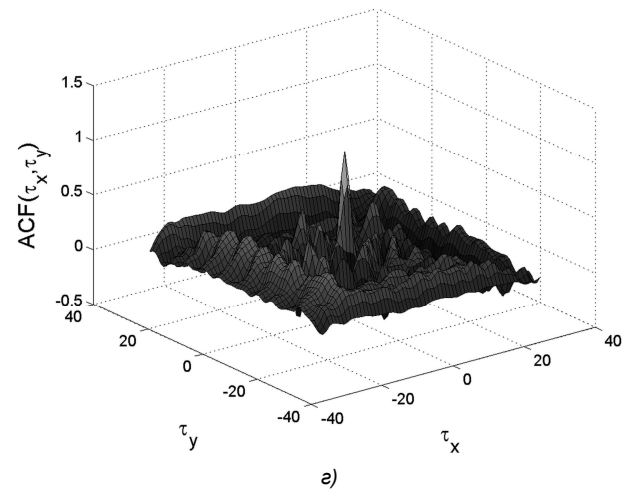
а)



б)



в)




г)

Рис. 7. Реальное изображение с областями различной степени корреляции, а) – исходное изображение с отмеченными областями, в которых проводилась оценка корреляции, б) – автокорреляционная функция для макроблока изображения в области высокой корреляции («глаз»), в) – автокорреляционная функция для макроблока изображения в области средней корреляции («нос»), г) – автокорреляционная функция для макроблока изображения в области низкой корреляции («шерсть»)

На рис. 6а представлена зависимость коэффициента корреляции между нулевыми модами соседних блоков преобразования GDCT. Сравнивая с аналогичным гра-

---



фином для преобразования ДКП на рис. 4а, видно, что при одинаковых значениях коэффициента корреляции между соседними отсчетами корреляция нулевых спектральных коэффициентов соседних блоков при GDCT преобразовании меньше, чем при ДКП.

#### **Расчет корреляции спектральных мод на реальном изображении**

На рис. 7а показано изображение «mandrill» с отмеченными черными прямоугольниками областями высокой («глаз»), средней («нос») и низкой («шерсть») корреляции. Белыми прямоугольниками выделены макроблоки, для которых строились автокорреляционные функции в областях высокой (рис. 7б), средней (рис. 7в) и низкой (рис. 7г) корреляции. По построенным автокорреляционным функциям было установлено, что интервалы корреляции в этих областях равны 0.9, 0.8, и 0.7 соответственно. Расчет корреляции нулевых спектральных мод  $C_0$  дискретного косинусного преобразования  $8 \times 8$  для блоков показывает, что ее значение равно 0.6 в области высокой межпиксельной корреляции, 0.47 в области средней межпиксельной корреляции и 0.19 в области низкой межпиксельной корреляции. Таким образом, полученные зависимости корреляции спектральных мод от интервала корреляции для модельного сигнала подтверждены экспериментальными результатами оценки корреляции спектральных мод, полученными на реальных изображениях.

#### **Заключение**

В работе были выполнены численные расчеты внутриблочной и межблочной корреляции для дискретного косинусного преобразования, дискретного чебышевского преобразования и целочисленного дискретного псевдокосинусного преобразования. Показано, что преобразование GDCT обеспечивает большую декорреляцию коэффициентов по сравнению с ДКП. Численные расчеты показали, что взаимная корреляция четных и нечетных мод рассмотренных преобразований равна нулю, ненулевой корреляцией обладают только ближайшие четные или нечетные моды. С увеличением разности индексов мод их взаимная корреляция стремится к нулю. Определены параметры корреляционной функции сигнала (коэффициент межпиксельной корреляции  $\rho$ ), при которых целесообразен межблочный прогноз DC коэффициентов  $C_0$ . Полученные результаты были экспериментально

подтверждены оценкой корреляции спектральных мод на реальном изображении.

#### **Литература**

1. Ричардсон Я. Видеокодирование. H.264 и MPEG-4 стандарты нового поколения. – М: Техносфера, 2005. – 368 с.
2. Радченко Ю.С. Алгоритм сжатия изображений на основе полиномиальных преобразований // Цифровая обработка сигналов. – 2002. – №1. – С. 2-6.
3. Радченко Ю.С. Метод сжатия и восстановления изображений на основе быстрых чебышевских преобразований // Автометрия. - 2002. - № 4. - С. 32-40.
4. Умняшкин С.В. Анализ эффективности применения ортогональных преобразований для кодирования дискретных сигналов с коррелированными отсчетами // Цифровая обработка сигналов. – 2008. – №4. – С. 15-18
5. H.S. Valvar, A. Hallapuro, M. Karczewicz Low-complexity Transform and Quantization in H.264/AVC //IEEE Trans on Circuit and System for Video Techn. - 2003. v13, №7. pp. 598-603.
6. W. Lin and D. Li, «Adaptive downsampling to improve image compression at low bit rates» // IEEE Trans. Image Process., 2006, vol. 15, №. 9. pp. 2513–2521.
7. Petre Stoica, Jian Li, Hao He «Spectral Analysis of Nonuniformly Sampled Data: A New Approach Versus the Periodogram» // IEEE Trans. on Signal Proc, v. 57, № 3, 2009. pp. 843-858

#### **FOURIER SERIES SPECTRAL COEFFICIENTS CORRELATION IN DISCRETE SPACE**

*Radchenko Y.S., Milyaev S.V.*

In this paper correlation coefficient of discrete cosine transform, integer cosine transform, and discrete Tchebyshev transform coefficients in continuous space in image single block and between neighbor blocks is estimated. Functional relation of spectral coefficients normalized intra-block and inter-block correlation coefficient from correlation distance is analyzed. It is shown that discrete Tchebyshev transform spectral coefficients are less correlated than discrete cosine transform spectral coefficients. Established results are proved by estimation of spectral coefficients correlation on a real image.