

УДК 004.627

ИССЛЕДОВАНИЕ СОКРАЩЕНИЯ ПСИХОФИЗИЧЕСКОЙ ИЗБЫТОЧНОСТИ В АЛГОРИТМЕ JPEG

Д.П. ГОРБУКОВА, Ю.М. БАКИМОВ, Т.М. ПЕЧЕНЬ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь**Поступила в редакцию 15 ноября 2021*

Аннотация. Проведено исследование сокращения психофизической избыточности в алгоритме JPEG. В результате установлено, что с увеличением размера блока дискретно-косинусного преобразования (DCT) качество кодирования ухудшается. Установлено, что постоянное снижение величины коэффициента компрессии изображений соответствует обратно пропорциональному числу кодируемых коэффициентов DCT.

Ключевые слова: алгоритм JPEG, дискретно-косинусное преобразование, коэффициент компрессии, качество кодирования, психофизическая избыточность.

Введение

Одним из наиболее часто применяемых преобразований двумерных изображений является DCT. Оно лежит в основе почти всех стандартов сжатия, которые используются в видеонаблюдении, за исключением Wavelet и JPEG-2000. Сокращение психофизической избыточности в алгоритме JPEG происходит в результате выполнения нескольких различных алгоритмов обработки данных. Этот метод сжатия применим для непрерывно-тоновых изображений. Таким образом, все стандарты JPEG, MPEG и семейство H.26x используют DCT в той или иной форме [1].

Уменьшить количество информации о каждом отдельном пикселе, определенным образом описывая контуры объекта и указывая средние значения яркости и цвета в пределах этого контура, можно путем сокращения избыточности. Крупные объекты соответствуют низким пространственным частотам, а мелкие объекты – высоким. На верхнем уровне эти частоты одновременно не присутствуют. В цифровом видеосигнале может быть передан весь спектр пространственных частот, однако если провести частотный анализ изображения, то возможно оставить в сигнале лишь те частоты, что действительно в нем присутствуют. Следовательно, в процессе сжатия изображений необходимо провести анализ пространственных частот.

Основным этапом процедуры сжатия цифровых изображений является преобразование небольших блоков изображения при помощи двумерного DCT. Обработка ведется блоками 8×8 пикселей. В результате выполнения DCT формируется 64 коэффициента. Исходный фрагмент изображения представляется в области пространственных частот. Этот шаг еще не приводит к сжатию изображения. Однако при его выполнении полагается, что в подавляющем большинстве изображений близкие по своим координатам пиксели имеют и близкие значения. Поэтому, при переходе от фрагмента к его частотному представлению большая часть энергии сигнала сосредотачивается в области низких частот, т.е. компоненты с меньшим значением индекса имеют большие значения [2].

При выполнении этой операции 64 исходных пикселей преобразуются в матрицу из 64 коэффициентов, которые характеризуют «энергию» исходных пикселей. Важнейшей особенностью этой матрицы коэффициентов является то, что первый коэффициент передает подавляющую часть «энергии», а количество «энергии», передаваемой остальными коэффициентами, очень быстро убывает. Таким образом, большая часть информации исходной

матрицы 8×8 пикселей представляется первым элементом матрицы, преобразованной по способу DCT.

Методика исследования сокращения психофизической избыточности в алгоритме JPEG

Для исследования сокращения психофизической избыточности в алгоритме JPEG необходимо выполнить кодирование по отдельным блокам изображения с возможностью просмотра коэффициентов DCT, коэффициентов масштабирования, результатов применения DCT к изображению, в укрупненном виде одного блока изображения [3].

С учетом особенностей человеческого глаза, который практически не чувствителен к ошибкам передачи цветности, выполняем архивирование данных для C_r и C_b с большим сжатием по следующему алгоритму:

$$\begin{pmatrix} Y \\ C_r \\ C_b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,299 & 0,587 & 0,144 \\ 0,5 & -0,4187 & -0,0813 \\ -0,1687 & -0,3313 & 0,5 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 128 \\ 128 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Для N равного восьми DCT, можно представить

$$D[i, j] = C(i) \times C(j) \times \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} S(x, y) \times \cos\left(\frac{(2 \times x + 1) \times j \times \pi}{2 \times N}\right) \times \cos\left(\frac{(2 \times y + 1) \times j \times \pi}{2 \times N}\right), \quad (2)$$

где $S(x, y)$ – исходное значение амплитуды пикселя с координатами x и y внутри блока; $D[i, j]$ – значение элемента (i, j) матрицы коэффициентов преобразования $0 \leq i, j \leq N - 1$, а значение $C(i)$ и $C(j)$ рассчитывается по формуле:

$$C(t) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{N}}, & t = 0; \\ \sqrt{\frac{2}{N}}, & 1 \leq t \leq N - 1. \end{cases}$$

Умножение Y , C_r и C_b на обратную матрицу есть обратное преобразование выполним по алгоритму:

$$Y_q = [u, v] = IntegerRaund \times \begin{pmatrix} Y[u, v] \\ q[u, v] \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Исследования проводились для случая, когда пиксели цветовой компоненты разбиваются на матрицы по восемь на восемь пикселей. Для каждой компоненты формируется три рабочие матрицы DCT по восемь бит для каждой компоненты. Если N равно восьми, то обратное DCT можно записать

$$S(x, y) = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} C(i) \times C(j) \times D(i, j) \times \cos\left(\frac{(2 \times x + 1) \times j \times \pi}{2 \times N}\right) \times \cos\left(\frac{(2 \times y + 1) \times j \times \pi}{2 \times N}\right). \quad (4)$$

Применение алгоритма DCT к каждой рабочей матрице приводит к результирующей матрице, где коэффициенты в левом верхнем углу есть низкочастотная составляющая изображения, а в правом – высокочастотная.

Необходимо выполнить квантование как деление рабочей матрицы на матрицу квантования поэлементно. Формирование матрицы квантования происходит следующим образом: каждое из 64 компонент делится на число – коэффициент квантования [2].

Разложение изображений по базисному алгоритму дискретно-косинусного преобразования

Выполним разложение изображения по базисному алгоритму DCT в программе «VCDemo». Исходные изображения (рис. 1, *a* и 2, *a*) загружаются в формате .bmp в программу «VCDemo» (рис. 1, *б* и 2, *б*). На рис. 1, *в* и 2, *в* показан результат разложения выбранных изображений по базисному DCT размером восемь на восемь.



Рис. 1. Изображение «Подсолнух»: *a* – исходное; *б* – в программе «VCDemo» в формате .bmp; *в* – разложение изображения по базисному DCT 8×8



Рис. 2. Изображение «Шары»: *a* – исходное; *б* – в программе «VCDemo» в формате .bmp; *в* – разложение изображения по базисному DCT 8×8

Для того, чтобы оценить влияние параметров качества при сжатии изображений необходимо выполнить следующие шаги в программе «VCDemo».

Шаг 1. Включить на панели управления режим исследования JPEG.

Шаг 2. В подменю «Bitrate» выбрать параметр качества «Set Quality» и изменять его значение от 75 до 2, отмечая изменения качества обработки изображений.

На рис. 3 представлены результаты исследования влияния в контрольных точках, соответствующих значениям параметра качества 2, 4, 9, 16, 36, 75, как изменение параметра качества влияет на изображения «Подсолнух» и «Шары».

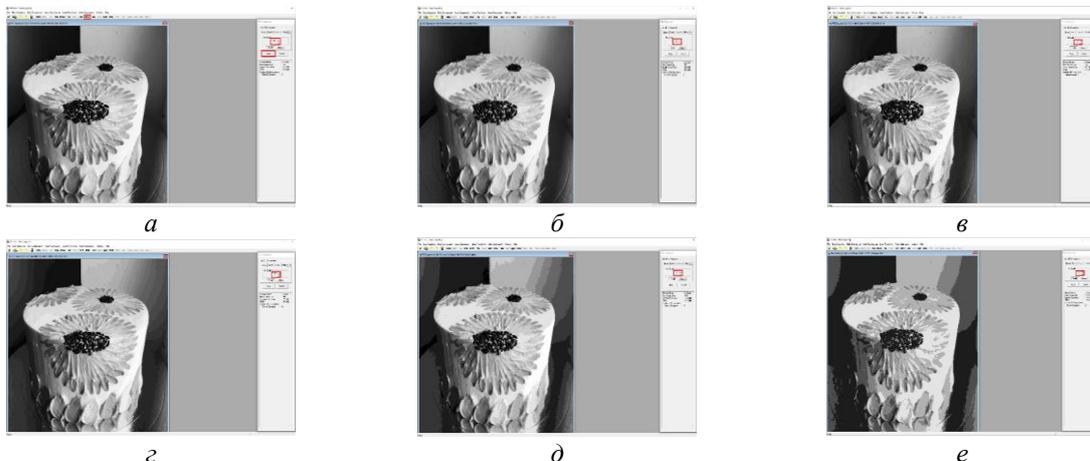


Рис. 3. Фрагмент рабочей области программы «VCDemo» при исследовании влияния параметра качества на сжатие изображения «Подсолнух»: *a* – равного 75; *б* – равного 36; *в* – равного 16; *г* – равного 9; *д* – равного 4; *е* – равного 2



Рис. 4. Фрагмент рабочей области программы «VCDEMO» при исследовании влияния параметра качества на сжатие изображения «Шары»: а – равного 75; б – равного 36; в – равного 16; г – равного 9; д – равного 4; е – равного 2

В табл. 1 приведены значения соотношения сигнал-шум (SNR) и пикового соотношения сигнал-шум (PSNR) в зависимости от параметров качества для изображений «Подсолнух» и «Шары».

Табл. 1. Значения SNR и PSNR в зависимости от параметров качества для изображений «Подсолнух» и «Шары»

Параметр качества	SNR, дБ		PSNR, дБ	
	Изображение «Подсолнух»	Изображение «Шары»	Изображение «Подсолнух»	Изображение «Шары»
75	39,7	43,3	50,5	52,0
36	30,0	33,6	40,8	42,2
16	25,7	29,0	36,5	37,6
9	22,5	26,0	33,3	34,6
4	17,4	20,6	28,2	29,3
2	13,0	15,2	23,8	23,9

Для установления характера зависимости изменения качества сжатых изображений «Подсолнух» и изображений «Шары» при наличии в канале связи ошибок, значение которых варьируется от 0,001 до 0,00005, нужно выполнить следующие шаги.

Шаг 1. На панели управления включить режим исследования JPEG.

Шаг 2. Выбрать в подменю «Errors», далее в графе «Set Channel Error Probability» указать количество ошибок от 0,001 до 0,00005.

При квантовании происходит существенная потеря информации об изображении. Задавая матрицу квантования с большими коэффициентами, мы можем получить большую степень сжатия. Квантованные коэффициенты DCT после округления преобразуем в линейный так, чтобы в начале вектора мы получали коэффициенты матрицы, соответствующие низким частотам, а в конце – высоким.

Далее показано какое влияние оказывают ошибки на изображения «Подсолнух» и «Шары» с различными значениями вероятности (рис. 5, 6).

Для расчета коэффициентов DCT и оценки влияния параметров преобразования на качество сжатых изображений необходимо выполнить следующие шаги.

Шаг 1. Открыть изображение bmp-формата.

Шаг 2. На панели управления включить режим исследования DCT.

Шаг 3. В подменю выбрать размер блока DCT.

Результаты измерений субъективного качества, SNR и PSNR преобразованных изображений представлены в табл. 2 [5].

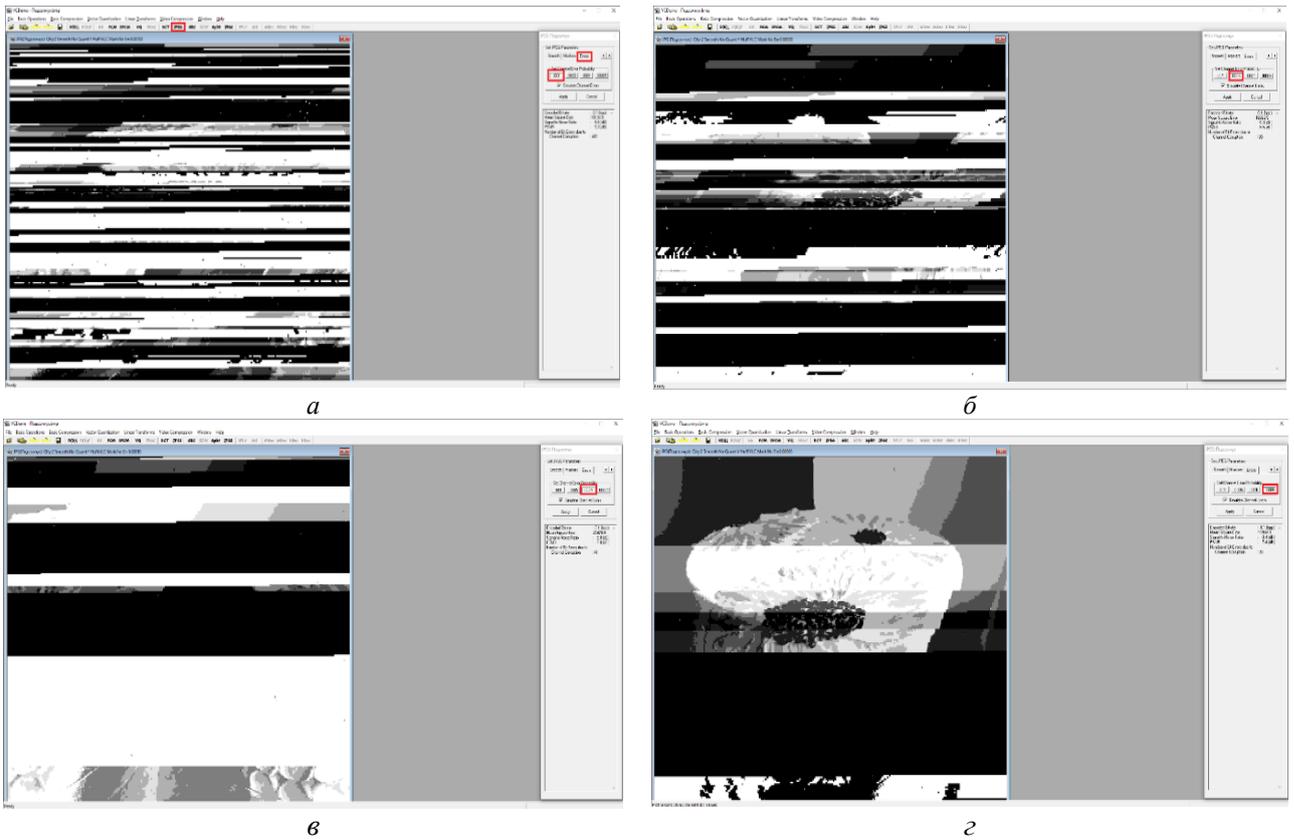


Рис. 5. Влияние ошибок на преобразованное изображение «Подсолнух» со значением вероятности равной: *а* – 0,001; *б* – 0,0005; *в* – 0,0001; *г* – 0,00005

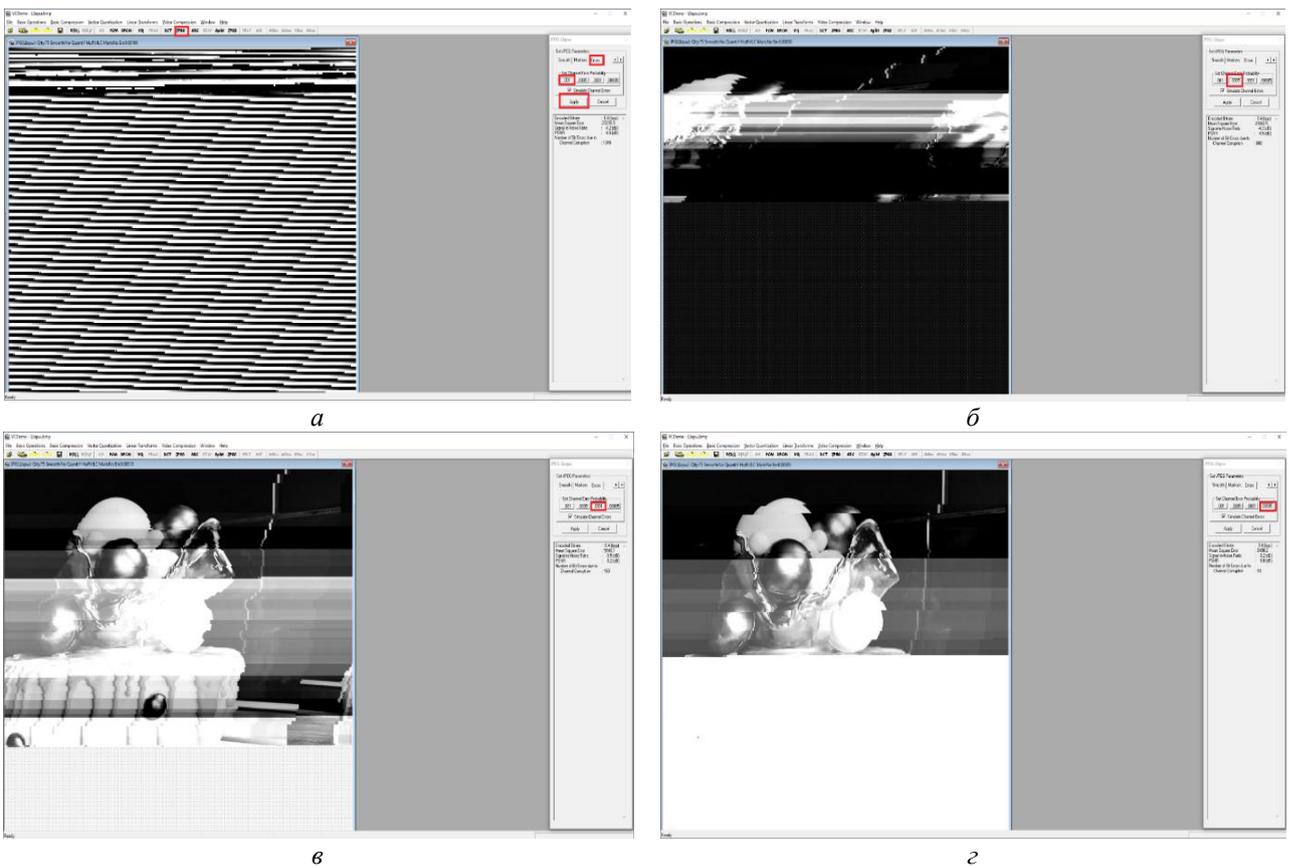


Рис. 6. Влияние ошибок на преобразованное изображение «Шары» со значением вероятности равной: *а* – 0,001; *б* – 0,0005; *в* – 0,0001; *г* – 0,00005

Табл. 2. Результаты измерений субъективного качества, PSNR и SNR

Размер блока	Число бит/отсчет	Субъективное качество изображения по 5-бальной шкале		PSNR, дБ		SNR, дБ	
		«Подсолнух»	«Шары»	«Подсолнух»	«Шары»	«Подсолнух»	«Шары»
2×2	0,25	2	2	25,9	26,1	13,5	13,5
	0,5	3	3	29,1	29,3	16,6	16,8
	0,75	4	3	32,5	32	20	19,4
	1	4	4	32,5	32	20	19,4
	2	5	4	36,5	35,4	24,1	22,9
4×4	0,25	2	2	28,8	27,6	16,4	15
	0,5	3	2	31,3	30,8	18,8	18,3
	0,75	4	3	33,6	33	21,2	20,4
	1	4	4	34,7	34,2	22,3	21,7
	2	5	5	39,7	38,8	27,2	26,3
8×8	0,25	2	2	30,4	30,1	17,9	17,5
	0,5	3	3	33	32,9	20,6	20,3
	0,75	3	3	34,9	34,6	22,4	22,1
	1	4	4	36,4	36	23,9	23,5
	2	5	4	41,2	40,5	28,7	28
16×16	0,25	2	2	31	31,2	18,5	18,6
	0,5	3	3	33,7	33,7	21,3	21,2
	0,75	3	3	35,6	35,4	23,2	22,9
	1	4	4	37,1	36,7	24,6	24,2
	2	5	4	41,4	40,7	28,9	28,1

Как видно из табл. 2, для одинаковых значений числа бит/отсчет, значения PSNR и SNR увеличивается при увеличении размера блока. Следует отметить, что «хороший» PSNR не всегда гарантирует хорошее качество изображения, из-за того, что зрительная система человека обладает нелинейным поведением.

Оценка качества производилась согласно [6]. В табл. 3 приведено соответствие количественной (балльной) и качественной оценок.

Табл. 3. Оценка качества изображения

Оценка (балл)	Качество	Ухудшение
5	Отличное	Незаметное
4	Хорошее	Заметное, но не мешающее
3	Удовлетворительное	Слегка мешающее
2	Плохое	Мешающее
1	Очень плохое	Очень мешающее

Заключение

При исследовании сжатия изображений «Подсолнух» и «Шары», на основе разработанного алгоритма, было оценено влияние их параметров на качество преобразованных изображений. Параметр PSNR показывает расхождение между оригинальным и восстановленным после кодирования изображений. Чем выше PSNR, тем лучше качество изображения. Обычные значения PSNR для сжатия с потерями составляет от 30 до 50 дБ. Для исследуемых изображений «Подсолнух» и «Шары» PSNR составляет в зависимости от параметра качества от 50,5 до 23,8 дБ и от 52 до 23,9 дБ. Это означает, что качество изображений при обработке изменялось почти равномерно.

В программе «VCDemo» выполнено разложение изображений по базисному алгоритму DCT. Проведено исследование влияния параметра качества на изображение.

INVESTIGATION OF REDUCTION OF PSYCHOPHYSICAL EXCESSIVENESS IN JPEG ALGORITHM

D.P. GORBUKOVA, Yu.M. BAKIMOV, T.M. PECHAN

Abstract. A study of the reduction of psychophysical redundancy in the JPEG algorithm was carried out. It is shown that with an increase in the size of a discrete-cosine transform (DCT) block, the coding quality deteriorates. It was found that a constant decrease in the value of the compression ratio of images corresponds to inversely proportional to the number of encoded DCT coefficients.

Keywords: JPEG algorithm, discrete cosine transform, compression ratio, coding quality, psychophysical excessiveness.

Список литературы

1. Tran H.T., Tran S.M. // Электроника и связь. 2010. № 2(55). С. 74–81.
2. Дружинин Д.В. // Вычислительные методы и программирование. 2008, Т.9. С. 72–80.
3. Chien S-Y., Huang Y-W. // IEEE Communications Magazine. 2005. P. 123–131.
4. August N.J., Ha D.S. // IEEE Transactions on Multimedia. 2004. Vol. 6, P. 414–422.
5. Heyne B., Götze J. // Adv. Radio Sci. 2007. Vol. 5, P. 305–311.
6. Поляков Д.Б. // Труды Московского технического университета связи и информатики. 2008. № 1. С. 463–466.