

УДК 681.325

В.В. Лукин¹, Н.Н. Пономаренко¹, М.С. Зряхов¹, С.С. Кривенко^{1,2}¹Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков²ОАО «Укртелеком», Харьков

ВИЗУАЛЬНОЕ КАЧЕСТВО ЗАШУМЛЕННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ ИХ СЖАТИИ С ПОТЕРЯМИ

Методы сжатия оптических изображений с потерями проанализированы с точки зрения обеспечения визуального качества. При этом учтен тот факт, что исходные изображения могут быть искажены помехами, в частности, аддитивным шумом. Определен оптимальный с точки зрения визуального качества шаг сжатия изображений шаг квантования, при котором имеют место максимумы ряда метрик, используемых для оценки визуального качества декомпрессированных изображений. Приведены сравнительные данные для различных кодеров, изображений и дисперсий помех.

Ключевые слова: оптическое изображение, аддитивные помехи, оптимальная степень сжатия, визуальное восприятие, критерии качества.

Введение

Постановка проблемы. Повсеместное внедрение и активное использование цифровой техники и электроники приводит к растущим требованиям к методам и средствам обработки графической информации. Большим классом графической информации являются оптические изображения. В связи с большими объемами, которыми зачастую характеризуются оптические изображения, широкое распространение получили различные методы сжатия изображений [1].

Известно, что существуют методы сжатия изображений с потерями и без таковых [1, 2]. Сжатие без потерь обеспечивает, как правило, неприемлемую степень компрессии (коэффициент сжатия – КС). А при сжатии изображений с потерями зачастую рассматривают лишь традиционные критерии качества (среднеквадратическую ошибку или связанное с ней пиковое соотношение сигнал-шум – ПССШ) и их зависимость от КС или других аналогичных показателей, например bpp (bits per pixel – количество бит на один пиксель исходного изображения). При этом не учитывается тот установленный на данный момент и широко обсуждаемый факт, что ПССШ неадекватно описывает визуальное качество изображений [5], в связи с чем в настоящее время предпринимаются значительные усилия, направленные на разработку метрик, более адекватных визуальному восприятию изображений человеком (human visual system) [5].

Кроме этого, часто не учитывается и другая особенность реальных изображений – то, что сформированные исходные изображения искажены помехами [13], которые чаще всего в первом приближении полагают аддитивными и Гауссовыми. Сжатие изображений, искаженных помехами, имеет

свою специфику, которую также необходимо принимать во внимание при выборе методов сжатия и выработке рекомендаций по установке их параметров [14].

Анализ литературы. Кроме пикового соотношения сигнал-шум (ПССШ, PSNR) для оценки качества исходных обработанных (сжатых, отфильтрованных, восстановленных и т.д.) изображений в настоящее время применяют различные критерии (метрики) качества [2]. В их число входят и метрики, которые учитывают визуальный аспект зрения человека, что особенно важно для оптических изображений. Интенсивные исследования в этом направлении продолжаются, но на данный момент предложен и протестирован, по крайней мере, ряд метрик, которые способны заметно лучше, чем ПССШ, количественно характеризовать визуальное качество оптических изображений [4, 10].

В ряде работ [13] было отмечено, что при определенных параметрах сжатия зашумленного изображения (при работе в окрестности так называемой оптимальной рабочей точки – ОПТ) достигается оптимальное (наибольшее) значение PSNR декомпрессированного изображения по отношению к незашумленному (эталонному). Например, для кодера AGU [3] нами было показано, что шаг квантования (параметр, управляющий КС для данного кодера) целесообразно выбирать пропорциональным среднеквадратическому отклонению (СКО) аддитивного Гауссова шума, где коэффициент пропорциональности примерно равен 4,5 [16]. Для обеспечения наивысшей вероятности правильной классификации сжатых цветных изображений, искаженных аддитивными помехами, были даны аналогичные рекомендации. Отличие состоит лишь в том, что рекомендуемый коэффициент пропорциональности примерно равен 5,5 [20].

В связи с этим возникает предположение, что аналогичные эффекты (наличие ОПТ, улучшение качества) могут иметь место и в плане визуального качества сжатых изображений, если они исходно искажены помехами. Это предположение основывается также на существовании эффекта фильтрации, наблюдаемого при сжатии зашумленных изображений при условии, что КС не выходит за определенные пределы [16, 17].

Цель исследования. В данной работе проводится исследование зависимости значений метрик, характеризующих визуальное качество сжатых зашумленных изображений, от параметров сжатия, а также свойств изображений и помех, для трех кодеков, обладающих хорошими традиционными показателями сжатия. На основании анализа этих зависимостей даются рекомендации по оптимальному или практическому выбору параметров, управляющих сжатием зашумленных изображений. В параграфе 1 рассматриваются используемые критерии качества, а также типы кодеков и изображений. Параграф 2 посвящен исследованию и поиску оптимальных параметров кодеков. Параграф 3 посвящен анализу полученных результатов.

1. Выбор критериев качества, кодеков и тестовых изображений

Следует отметить, что на эффективность сжатия любого изображения влияют следующие факторы: используемый кодек (метод сжатия), свойства сжимаемого изображения, уровень помех, степень сжатия, определяемая параметром, управляющим сжатием (ПУС).

Чаще всего используемым критерием является пиковое соотношение сигнал/шум, которое может быть рассчитано как

$$\text{PSNR} = 10 \lg(255^2 / \text{MSE}), \text{ дБ}, \quad (1)$$

где MSE – среднеквадратическая ошибка, в свою очередь, вычисляемая по формуле

$$\text{MSE} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (I_{ij} - I_{ij}^e)^2, \quad (2)$$

где N, M – размеры изображения; I_{ij}^e – значение ij -го пикселя исходного (эталонного) изображения; I_{ij} – значение пикселя искаженного изображения.

При вычислении MSE применительно к задаче сжатия зашумленных изображений возможны различные варианты. Например, если имеется исходное зашумленное изображение и декомпрессированное изображение, то, подставляя их в качестве $\{I_{ij}^e\}$ и $\{I_{ij}\}$ в (2), можно рассчитать $\text{MSE}_{\text{nf_de}}$, а затем и $\text{PSNR}_{\text{nf_de}}$. Если же имеется незашумленное «чистое» изображение $\{I_{ij}^{\text{nf}}\}$ (что возможно при проведении моделирования, когда к незашумленному изображе-

нию добавляется сгенерированный шум, а затем производится его сжатие), то может быть получена среднеквадратическая ошибка $\text{MSE}_{\text{nf_de}}$ для декомпрессированного зашумленного изображения $\{I_{ij}\}$ и незашумленного изображения $\{I_{ij}^{\text{nf}}\}$. Соответственно, имея $\text{MSE}_{\text{nf_de}}$, можно рассчитать и $\text{PSNR}_{\text{nf_de}}$.

Поскольку в следующем разделе анализ будет проводиться, используя численное моделирование, то в дальнейшем будем рассматривать метрику $\text{PSNR}_{\text{nf_de}}$ и обозначать ее просто как PSNR.

Кроме PSNR в работе использованы критерии, учитывающие визуальное качество изображений. К ним относятся метрики PSNR-HVS и PSNR-HVS-M [4, 6], WSNR и MSSIM [15], который авторы также называют индекс. Отметим лишь, что метрика PSNR-HVS рассчитывается с учетом особенностей визуального восприятия человека (human visual system – HVS), PSNR-HVS-M, в дополнение к этому, учитывает и эффекты маскирования. Метрики WSNR и MSSIM детально описаны в [15].

В настоящее время сложно дать однозначный ответ, какие из этих четырех метрик являются наилучшими в плане адекватности особенностям визуального восприятия. Поэтому проведем анализ для всех четырех метрик.

Все перечисленные метрики вычислялись, используя $\{I_{ij}\}$ и $\{I_{ij}^{\text{nf}}\}$.

Отметим, что в отличие от остальных метрик, измеряемых в децибелах, MSSIM изменяется в диапазоне от 0 до 1 (чем больше значение MSSIM, тем выше качество). Поэтому для метрик PSNR, PSNR-HVS, PSNR-HVS-M и WSNR результаты можно представить на совместных графиках, а для MSSIM они даны только в таблицах.

Из всего многообразия методов сжатия мы выбрали три кодека, которые, на наш взгляд, являются одними из наиболее эффективных, и, в то же время, используют принципиально разные подходы к сжатию данных с потерями. В основе кодера ADCT [3] лежит алгоритм сжатия на базе дискретного косинусного преобразования (ДКП). Кодек использует адаптивное разбиение изображения на квадратные блоки различного размера и контекстное кодирование. Кодек AGU [3] использует несколько другую схему обработки коэффициентов ДКП и работает с блоками изображения фиксированного размера 32x32 пикселя. Подробное описание и реализации этих двух кодеков приведено на сайте [3]. В основе кодера SPIHT лежит ДВП – дискретное вейвлет-преобразование. Подробное описание этого кодера приведено в [9]. Фактически SPIHT можно считать доступной пользователям реализацией стандарта JPEG2000. Отметим лишь, что, в качестве ПУС ко-

деры ADCT и AGU используют шаг квантования, а кодер SPIHT использует количество бит на пиксель.

Поскольку характеристики сжатия зависят от свойств изображений, в эксперименте были использованы три стандартных тестовых изображения (BABOON, BARBARA, GOLDHILL) в градациях серого (8 бит/пиксель), имеющие размер 512x512 пикселей. Выбор именно этих изображений обусловлен их различными характеристиками, в частности типами и сложностью текстур, количеством мелких деталей и границ и т.д. Как правило, наиболее сложно сжимать высокотекстурные изображения типа BABOON, а наилучшие показатели сжатия достигаются для относительно простых изображений, например GOLDHILL.

В литературе, посвященной вопросам обработки зашумленных изображений при их 8-битном представлении, обычно рассматривают дисперсию аддитивных помех σ^2 порядка 25...200 [1]. Поэтому ниже ограничимся рассмотрением двух случаев: $\sigma^2=50$ и 100.

2. Методика проведения исследования

При проведении экспериментов рассматриваемые тестовые изображения BABOON, BARBARA, GOLDHILL были искусственно зашумлены аддитивным Гауссовым шумом с дисперсиями 50 и 100. После этого осуществлялось их сжатие описанными выше кодерами с различными степенями сжатия.

Для корректности сравнения результатов для различных кодеров был принят следующий подход. Для кодеров ADCT и AGU в качестве ПУС используется шаг квантования, который в общем виде определялся как $QS = b\sigma$, где коэффициент b выбирался равным 2,5; 3,5; 4,5; 5,5; 6,5, а σ – среднеквадратическое отклонение помех для сжимаемого зашумленного изображения. Естественно, что чем больше коэффициент b и, соответственно, QS , тем больше достигаемый КС.

Такая методика выбора QS позволяет получить зависимости перечисленных выше метрик от QS , проанализировать их, сравнить между собой эффективность кодеров ADCT и AGU. При этом предполагается, что дисперсия σ^2 либо заранее известно, как в наших экспериментах, либо предварительно оценена с достаточной точностью [5,11], что позволяет автоматизировать процедуру сжатия на практике. Отметим, что при одном и том же QS для кодер ADCT обеспечивает примерно в 1,03...1,07 раз больший КС, чем AGU.

Для SPIHT-кодера КС определяется задаваемым заранее количеством бит на 1 пиксель (bpp). Поэтому, чтобы обеспечить возможность сравнения результатов для кодеров SPIHT и AGU, сжатие вы-

полнялось следующим образом. Каждое зашумленное изображение сначала сжималось кодером AGU с указанной выше сеткой шагов квантования. Для набора QS определялся соответствующий набор значений КС. Далее для этих КС рассчитывались значения $bpp = 8/КС$. После этого изображения сжимались кодером SPIHT для полученного набора значений bpp .

В результате была получена следующая сетка значений bpp для кодера SPIHT:

- для изображения Baboon ($\sigma^2 = 100$) – 1,7; 1,19; 0,83; 0,62 и 0,48 (соответствуют QS , равному 25, 35, 45, 55 и 65);

- для изображения Baboon ($\sigma^2 = 50$) – 2,07; 1,54; 1,17; 0,91 и 0,73;

- для изображения Barbara ($\sigma^2 = 50$) – 2,07; 0,75; 0,73; 0,50 и 0,38;

- для изображения Barbara ($\sigma^2 = 100$) – 1,14; 0,60; 0,37; 0,27 и 0,21;

- для изображения GoldHill ($\sigma^2 = 50$) – 1,35; 0,81; 0,49; 0,34 и 0,26;

- для изображения GoldHill ($\sigma^2 = 100$) – 1,14; 0,60; 0,33; 0,22; 0,16.

Из сравнения результатов для фиксированной дисперсии σ^2 видно, что при одном и том же QS изображение GoldHill сжимается гораздо лучше (с меньшим bpp и, соответственно, большим КС), чем изображение Barbara и, тем более, изображение Baboon.

После выполнения сжатия для декодированных изображений расчет метрик PSNR, PSNR-HVS, PSNR-HVS-M, WSNR, MSSIM и их анализ.

3. Анализ экспериментальных данных

Основные, наиболее интересные из полученных результатов, представлены на рис. 1 – 6 и в табл. 1 – 5. Анализ начнем с наименее сложного для сжатия изображения GOLDHILL (графики рис. 1 – 3 и данные в табл. 1 и 2). Прежде всего, отметим, что для случая $\sigma^2 = 100$ для всех трех исследуемых кодеров имеют место максимумы значений PSNR. Для кодеров ADCT и AGU эти максимумы наблюдаются при b порядка 4, то есть при $QS \approx 40$, а для кодер SPIHT – при соответствующем bpp порядка 0,5. Координаты максимумов PSNR называют OPT соответствующих кодеров [8, 9].

Максимумы кривых PSNR(b) и PSNR(bpp) имеют место и при $\sigma^2 = 50$ (данные в табл. 1 и 2 для кодеров ADCT и SPIHT).

Аналогичные результаты уже были описаны в наших более ранних работах [16,17]. Новым же является то, что максимумы имеют место и для некоторых метрик, характеризующих визуальное качество

во декомпрессированных изображений. Так, имеет место максимум для кривой PSNR-HVS(b) при $\sigma^2 = 100$ для кодера AGU (рис. 2), а также PSNR-HVS(bpp) при $\sigma^2 = 100$ для кодера SPIHT (рис. 3). Наблюдаются также максимумы для метрики PSNR-HVS-M (bpp) при $\sigma^2 = 100$ для кодера SPIHT (табл. 2) и метрики MSSIM при $\sigma^2 = 100$ для кодера SPIHT (табл. 2) и $\sigma^2 = 50$ для кодера ADCT (табл. 1).

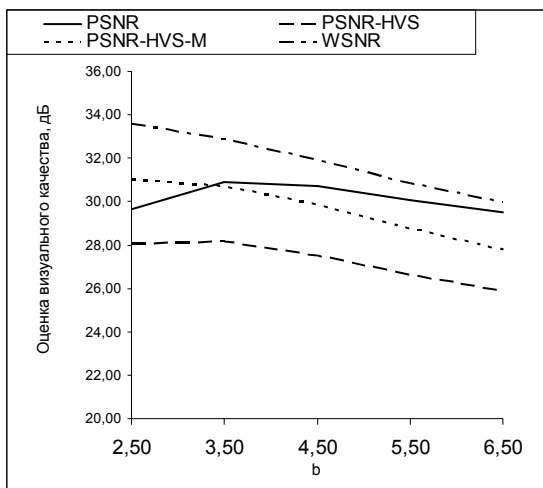


Рис. 1. Зависимости метрик визуального качества для декомпрессированного изображения GOLDHILL от b, $\sigma^2 = 100$, кодер ADCT

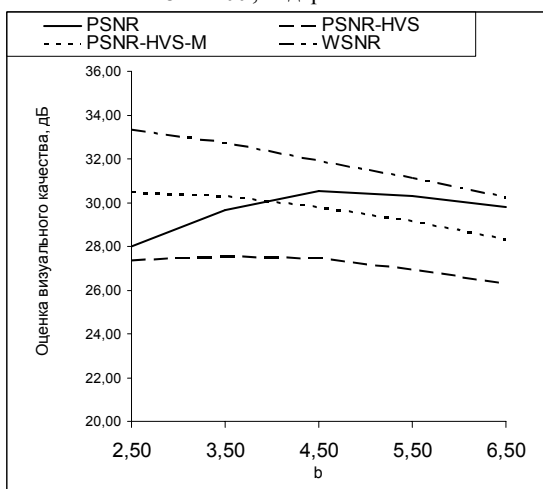


Рис. 2. Зависимости метрик визуального качества декомпрессированного изображения GOLDHILL от b, $\sigma^2 = 100$, кодер AGU

Все эти максимумы наблюдаются при $b = 3,5$ или соответствующем bpp. Остальные же зависимости, хоть и имеют монотонно убывающий характер при увеличении b или уменьшении bpp, но скорость их убывания в окрестности $b = 3,5$ или соответствующем bpp очень мала. Таким образом, можно говорить о том, что при выборе $b = 3,5$ для кодеров ADCT и AGU или соответствующем bpp для кодера SPIHT для изображения GOLDHILL наблюдается либо некоторое улучшение визуального качества

декомпрессированного изображения по отношению к зашумленному, либо его очень незначительное снижение.

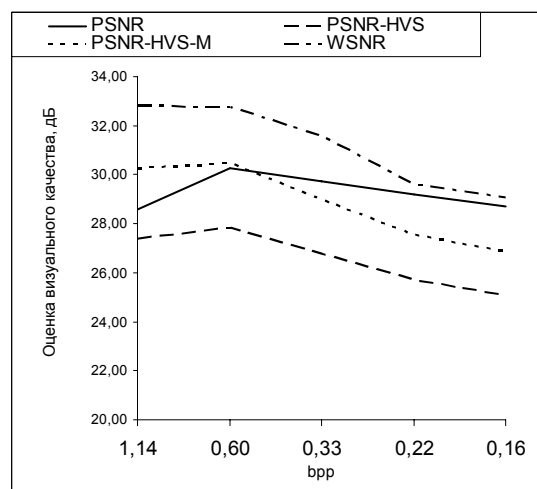


Рис. 3. Зависимости метрик визуального качества декомпрессированного изображения GOLDHILL от bpp, $\sigma^2 = 100$, кодер SPIHT

Для высокотекстурного изображения BABOON картина несколько иная (графики на рис. 4 – 6 и данные в табл. 3). Это отчетливо проявляется для случая дисперсии шума $\sigma^2 = 50$ и кодера ADCT (табл. 3). Все метрики монотонно убывают при увеличении КС (увеличении b или уменьшении bpp). Причем такая тенденция характерна для всех трех кодеров. Кодер ADCT дает лучший с точки зрения всех критериев качества результат. В частности, при $b = 3,5$ значение метрики PSNR-HVS-M для кодера ADCT на 0,44 дБ больше по сравнению с кодером AGU и 1,31 дБ больше по сравнению с кодером SPIHT (bpp = 0,81). А с точки зрения критерия WSNR выигрыш ADCT по сравнению с AGU и SPIHT составляет 0,17 дБ и 1,12 дБ соответственно.

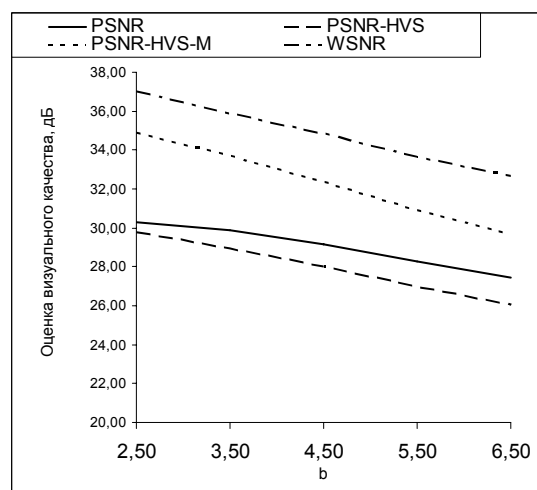


Рис. 4. Зависимость метрик визуального качества декомпрессированного изображения BABOON от b, $\sigma^2 = 50$, кодер ADCT

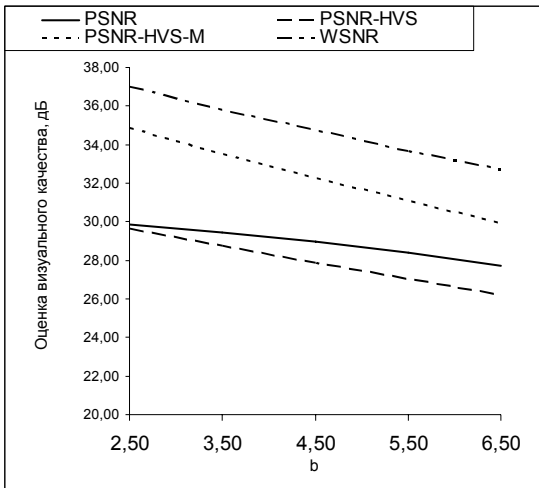


Рис. 5. Зависимость метрик визуального качества декомпрессированного изображения BABOON от b , $\sigma^2 = 50$, кодер AGU

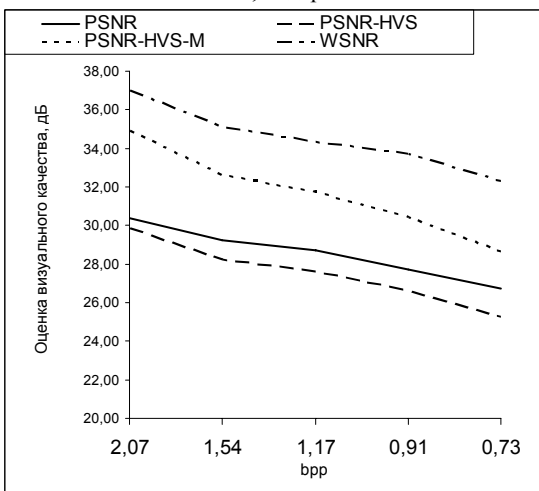


Рис. 6. Зависимость метрик визуального качества для декомпрессированного изображения BABOON от b , $\sigma^2 = 50$, кодер SPIHT

Интересные эффекты наблюдаются для тестового изображения BARBARA. Согласно данным, приведенных в табл. 4 (кодер AGU, $\sigma^2 = 50$), метрика PSNR и индекс MSSIM дают максимальную оценку качества при $b = 4,5$. При этом PSNR = 32,83 дБ, а MSSIM = 0,9768. Критерий PSNR-HVS имеет максимум при $b = 3,5$, PSNR-HVS = 30,34 дБ. Что касается критериев PSNR-HVS-M и WSNR, то они имеют монотонно убывающую зависимость.

Таким образом, ряд метрик снова указывают на оптимум визуального качества при b порядка 3,5.

Если же рассмотреть случай вдвое большей дисперсии шума ($\sigma^2 = 100$), то поведение метрик PSNR-HVS-M и WSNR изменяется (табл. 5, кодер SPIHT). Все метрики имеют максимумы при $b_{pp} = 0,6$ (что соответствует $b = 3,5$ для кодера AGU). При этом PSNR = 30,32 дБ, PSNR-HVS = 28,23 дБ, PSNR-HVS-M = 31,09 дБ, WSNR = 33,05 дБ, MSSIM = 0,9649. Согласно метрике PSNR-HVS-

M, кодер ADCT дает выигрыш 0,96 дБ относительно кодера AGU и 0,73 дБ относительно кодера SPIHT при $b = 3,5$ ($b_{pp} = 0,6$). А критерий WSNR показывает выигрыш 0,48 дБ и 0,27 дБ кодера ADCT по сравнению с кодерами AGU и SPIHT соответственно ($b = 3,5$; $b_{pp} = 0,60$).

Графики значений метрик для разных КС (значений b) для рассматриваемых кодеров представлены на рис. 7 и 8.

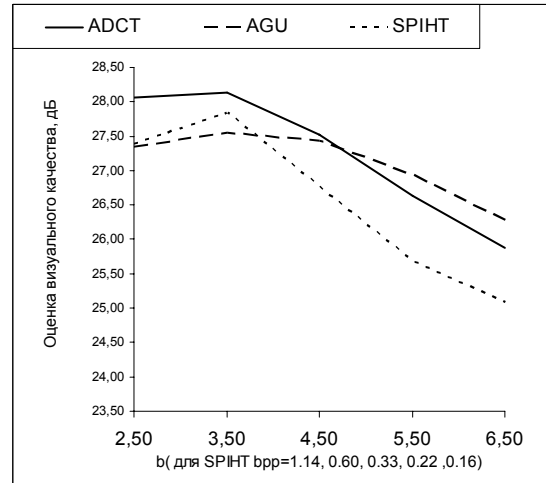


Рис. 7. Сравнительная оценка визуального качества на выходе различных кодеров для GOLDHILL на основании метрики PSNR-HVS, $\sigma^2 = 100$

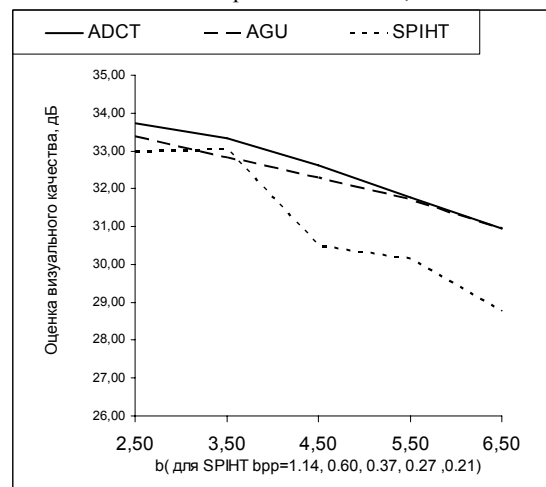


Рис. 8. Сравнительная оценка визуального качества на выходе различных кодеров для BARBARA на основании метрики WSNR, $\sigma^2 = 100$

Очевидно (рис. 7 и 8), что кодер ADCT обеспечивает наилучшее качество декомпрессированных изображений. Заметим, что при прочих равных условиях он также обеспечивает большую степень сжатия, чем два других кодера.

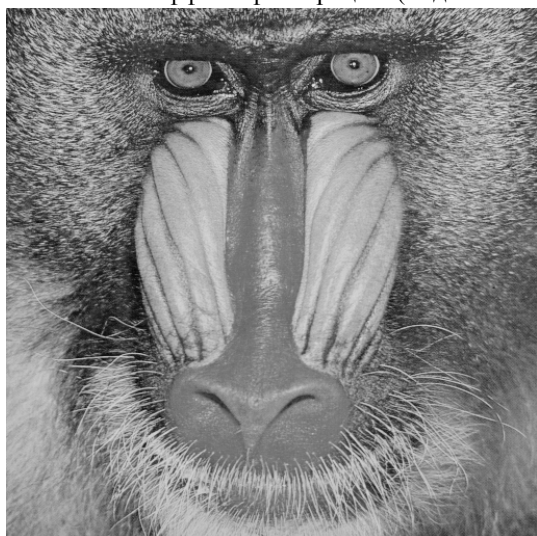
Для изображения GOLDHILL при $\sigma^2 = 100$ метрика PSNR-HVS имеет явно выраженные максимумы для всех трех кодеров (рис. 7). Эти максимумы наблюдаются при $b = 3,5$. Для изображения

BARBARA при $\sigma^2 = 100$ метрика WSNR имеет максимум лишь для кодера SPIHT при bpp, соответствующем $b = 3,5$ для других кодеров (рис. 8).

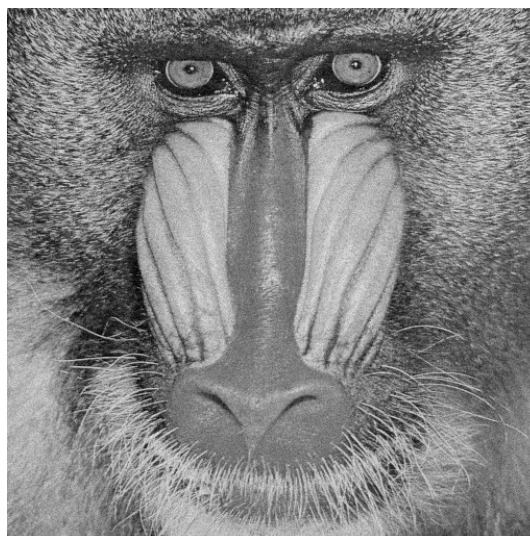
На рис. 9 приведены изображения, позволяющие визуально оценить влияние помех и сжатия на качество изображения. Рассмотрен самый сложный случай – сравнительно низкий уровень помех и высокотекстурное изображение. Аддитивный шум визуально заметен (рис. 9, б) лишь в центральной части изображения. Для текстурных участков имеет место эффект маскирования [6]. При сжатии с рекомендуемыми параметрами ($b = 3,5$ для кодера ADCT, изображение на рис. 9, в и bpp = 1,54 для кодера SPIHT, изображение на рис. 9, г) наблюдается небольшой эффект фильтрации (подавления по-

мех) в центральной части изображения. Вносимые кодерами искажения мало заметны.

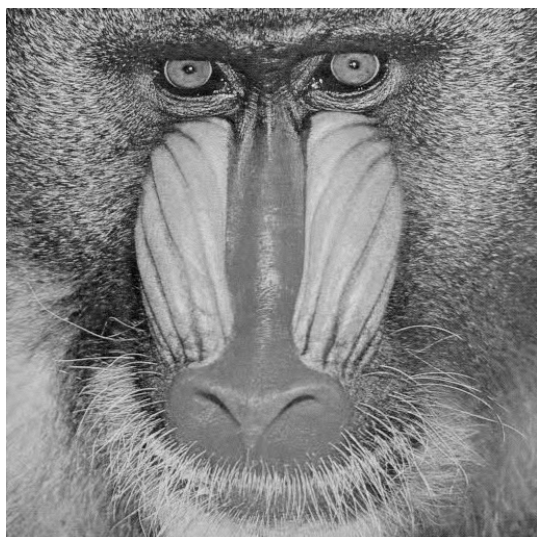
На рис. 10 приведены изображения GOLDHILL: незашумленное (а), зашумленное (б) и сжатое кодерами ADCT (в) и AGU (г). Для этого случая аддитивный шум гораздо более заметен как вследствие его большей интенсивности ($\sigma^2 = 100$), так и свойств самого изображения, которое содержит значительное количество однородных и квази-однородных площадных участков. Именно для них при сжатии хорошо наблюдается эффект фильтрации (см. фрагмент неба в верхней части на рис. 10, в и 10, г и сравните его с этим же фрагментом на рис. 10, б).



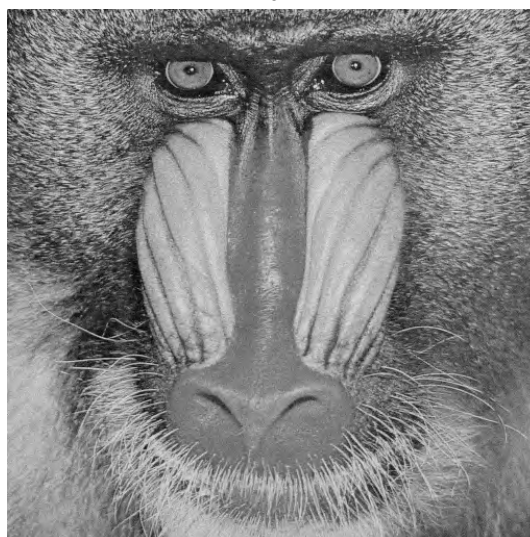
а



б



в



г

Рис. 9. Изображение BABOON: а – незашумленное изображение; б – зашумленное, $\sigma^2 = 50$; в – сжатое при $b = 3,5$ кодером ADCT, г – сжатое с bpp = 1,54 кодером SPIHT

Сравнительный анализ изображений на рис. 10, в и 10, г между собой показывает, что кодер ADCT (рис. 10, в) лучше сохраняет детали и границы, чем кодер AGU (рис. 10, г). Это происходит бла-

годаря использованию схемы разбиения, локально адаптирующейся к свойствам конкретного изображения.

В целом, результаты проведенного анализа сви-

детельствуют о том, что при сжатии с потерями изображений, искаженных аддитивными помехами, целесообразно выполнять компрессию, задавая $QS = 3,5\sigma$ для кодеров, для которых в качестве ПУС используется шаг квантования. Такое сжатие может

быть выполнено автоматически в два этапа. На первом применяется автоматическое оценивание дисперсии помех $\hat{\sigma}$ [18]. На втором сжатие осуществляется с заданием $QS = 3,5\hat{\sigma}$.



Рис. 10. Изображение GOLDHILL: а – истинное изображение; б – зашумленное, $\sigma^2 = 100$; в – сжатое при $b = 3,5$ кодером ADCT; г – сжатое при $b = 3,5$ кодером AGU

Таблица 1

Результаты для изображения GOLDHILL, зашумленного аддитивным шумом с дисперсией 50. Кодер ADCT

b	PSNR, дБ	PSNR-HVS, дБ	PSNR-HVS-M, дБ	WSNR, дБ	MSSIM
2,5	31,84	30,59	34,25	36,42	0,9733
3,5	32,58	30,33	33,58	35,48	0,9741
4,5	32,22	29,59	32,51	34,47	0,9701
5,5	31,55	28,72	31,39	33,47	0,9635
6,5	30,91	27,86	30,31	32,48	0,9562

Таблица 2

Результаты для изображения GOLDHILL, зашумленного аддитивным шумом с дисперсией 100. Кодер SPIHT

Впр	PSNR, дБ	PSNR-HVS, дБ	PSNR-HVS-M, дБ	WSNR, дБ	MSSIM
1,14	28,58	27,39	30,27	32,81	0,9464
0,60	30,28	27,85	30,46	32,76	0,9563
0,33	29,73	26,77	29,00	31,57	0,9460
0,22	29,21	25,69	27,56	29,61	0,9338
0,16	28,69	25,09	26,86	29,09	0,9243

Таблица 3

Результаты для изображения BABOON, зашумленного аддитивным шумом с дисперсией 100. Кодер ADCT

B	PSNR, дБ	PSNR-HVS, дБ	PSNR-HVS-M, дБ	WSNR, дБ	MSSIM
2,5	27,85	27,06	31,25	34,02	0,9666
3,5	27,76	26,40	30,22	33,05	0,9639
4,5	27,11	25,49	28,96	31,91	0,9563
5,5	26,29	24,52	27,67	30,85	0,9450
6,5	25,51	23,64	26,52	29,94	0,9330

Таблица 4

Результаты для изображения BARBARA, зашумленного аддитивным шумом с дисперсией 50. Кодер AGU

B	PSNR, дБ	PSNR-HVS, дБ	PSNR-HVS-M, дБ	WSNR, дБ	MSSIM
2,5	30,85	30,25	34,01	36,27	0,9675
3,5	32,19	30,34	33,82	35,53	0,9739
4,5	32,83	30,18	33,41	34,76	0,9768
5,5	32,50	29,72	32,81	34,05	0,9761
6,5	31,93	29,05	31,90	33,16	0,9735

Таблица 5

Результаты для изображения BARBARA, зашумленного аддитивным шумом с дисперсией 100. Кодер SPIHT

Bpp	PSNR, дБ	PSNR-HVS, дБ	PSNR-HVS-M, дБ	WSNR, дБ	MSSIM
1,14	28,91	27,70	30,73	32,98	0,9509
0,60	30,32	28,23	31,09	33,05	0,9649
0,37	28,94	26,42	28,73	30,50	0,9526
0,27	27,86	25,59	27,81	30,16	0,9407
0,21	26,95	24,42	26,36	28,75	0,9266

Для кодеров, для которых в качестве ПУС используется bpp (например, SPIHT или JPEG2000), целесообразно применять bpp, соответствующий $QS = 3,5\sigma$ для кодеров ADCT или AGU. Однако возникает вопрос, как реализовать это на практике для кодеров SPIHT, JPEG2000 или аналогичных им? Здесь можно рекомендовать два пути. Первый - выполнить сжатие, используя кодер AGU с $QS = 3,5\sigma$, определить полученный KC_{AGU} и задать для кодеров SPIHT или JPEG2000 $bpp = 8 / KC_{AGU}$. При этом учитывается тот факт, что кодеры AGU и SPIHT или JPEG2000 обеспечивают при прочих равных условиях примерно одинаковые KC. Недостатком такого подхода является то, что для его реализации надо иметь в распоряжении кодер AGU, а сжатие осуществлять дважды – сначала кодером AGU, а потом уже SPIHT или JPEG2000. Возможен и другой путь. В нашей работе [19] предложена процедура обеспечения заданного PSNR или MSE, рассчитываемого для сжатого изображения относительно исходного (в данном случае искаженного помехами). Мы рекомендуем использовать эту процедуру с обеспечением $MSE \approx 0,8\sigma^2$. Однако отметим, что и процедура [19] предусматривает неоднократное выполнение операций компрессии и декомпрессии сжимаемого изображения до тех пор, пока не будет установлен нужный bpp и произведено окончательное сжатие.

Такой достаточно подробный анализ практических аспектов обусловлен тем, что к современным методам сжатия с потерями предъявляется комплекс

требований. Основными являются приемлемое качество и как можно более высокая степень сжатия, причем для случаев сжатия оптических изображений, для которых особо важно их визуальное качество, приоритет этих основных требований именно такой, например, для цифровых фотоаппаратов [1]. В этом плане, как показано выше, кодер ADCT представляется наиболее привлекательным.

Однако обычно имеются и дополнительные (необязательные, но желательные) требования. Таковыми являются простота достижения желаемых параметров сжатия (качества компрессированных изображений), скорость (время) компрессии и декомпрессии, соответствие стандартам. Для кодеров ADCT и AGU приемлемое визуальное качество сжатых изображений достигается сравнительно легко, при этом ADCT требует больших, чем AGU, вычислительных затрат. Но эти кодеры являются исследовательскими модификациями JPEG с целью расширить его возможности и улучшить характеристики. Вместе с тем, JPEG2000, хотя и является стандартом, но он также пока не получил широкого распространения. Поэтому решение о практическом выборе метода сжатия зависит для каждого конкретного приложения от приоритета требований и ограничений.

Выводы

Проанализировав полученные результаты, можно утверждать, что с точки зрения наилучших из известных на данный момент метрик визуального качества (WSNR, MSSIM, PSNR-HVS, PSNR-HVS-

М) во многих практических случаях имеет место максимум этих метрик при сжатии изображений, искаженных аддитивными помехами. Эти максимумы наблюдаются при использовании шага квантования, примерно равного $3,5\sigma$ для аддитивного Гауссова шума, которым искажено изображение, для кодеров, характеристики сжатия для которых варьируются путем изменения шага квантования. Максимумы метрик имеют место для относительно простых изображений и достаточно явно выражены при интенсивных помехах. Для текстурных изображений, особенно при относительно малой дисперсии помех, зависимости метрик от КС имеют монотонно спадающий характер. Однако и для них представляется целесообразным использовать сжатие с $QS = 3,5\sigma$ (на практике $3,5\sigma$) или соответствующим bpp . Следовательно, степень сжатия зашумленных изображений должна и может быть адаптирована к характеристикам помех.

Из рассмотренных кодеров наилучшие результаты с точки зрения визуального качества сжатых изображений и КС обеспечивает кодер ADCT, способный адаптироваться к локальным характеристикам конкретного изображения. Возможно, целесообразно адаптироваться также и к глобальным характеристикам (сложности, контексту) конкретных изображений и устанавливать несколько меньшие, чем рекомендованные выше, значения QS для высоко-текстурных изображений. Однако такой подход предусматривает, что предварительно выполнена относительно простая и быстрая «классификация» изображения, подлежащего сжатию, по степени его сложности.

В дальнейшем планируется рассмотреть цветные изображения и более сложные модели помех.

Список литературы

1. Bovik A, *Handbook of Image and Video Processing* / A. Bovik. – Academic Press, 2000. – 1200 p.
2. Furht B. *The handbook of video databases: Design and Applications* / B. Furht, O. Marques. – CRC Press, 2003. – 1232 p.
3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа к документу: <http://www.ponomarenko.info>.
4. On between-coefficient contrast masking of DCT basis functions / N. Ponomarenko, F. Silvestri, K. Egiazarian, J. Astola, M. Carli, V. Lukin // *CD-ROM Proceedings of the Third International Workshop on Video Processing and Quality Metrics*. – Scottsdale, USA, 2007. – 4 p.
5. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity / Z. Wang, A. Bovik, H. Sheikh, E. Simoncelli // *IEEE Trans. on Image Proc.* – 2004. – Vol. 13. – P. 600-612.
6. New full-reference quality metrics based on HVS, CD-ROM Proceedings of the Second International Workshop on Video Processing and Quality Metrics / K. Egiazarian, J. Astola, N. Ponomarenko, V. Lukin, F. Battisti, M. Carli. – Scottsdale, USA, 2006. – 4 p.

7. Wallace G. *The JPEG Still Picture Compression Standard* / G. Wallace // *Comm. of the ACM*. – 1991. – Vol. 34, No. 4. – P. 95-101.

8. Taubman D. *JPEG 2000: Image Compression Fundamentals* / D. Taubman, M. Marcellin // *Standards and Practice*. – Boston: Kluwer, 2002. – P. 127-141.

9. Wenjun Zeng. *An overview of the visual optimization tollos in JPEG2000* / Zeng Wenjun, S. Daly, Lei Shawmin // *Signal Processing: Image Communication*. – 2002. – Vol. 17. – P. 85-104.

10. Лукин В.В. Анализ эффективности методов сжатия изображений в соответствии с различными критериями качества / В.В. Лукин, Н.Н. Пономаренко, С.С. Кривенко // *Радиоэлектроника и информатика*. – Х.: ХНУРЭ, 2007. – 2. – С. 85-90.

11. Лукин В.В. Оценка эффективности фильтрации оптических изображений с учетом их визуального восприятия / В.В. Лукин, Н.Н. Пономаренко, С.С. Кривенко // *Системы обработки информации: сб. науч. пр.* – Х.: ХУ ПС, 2007. – Вып. 9 (67). – С. 65-71.

12. Кривенко С.С. Оценка эффективности фильтрации изображений на основе карт локальной активности / С.С. Кривенко, Н.Н. Пономаренко, В.В. Лукин // *Системы обработки информации: сб. науч. пр.* – Х.: ХУ ПС, 2008. – Вып. 1 (68). – С. 34-37.

13. Adaptive denoising and lossy compression of images in transform domain / K. Egiazarian, J. Astola, M. Helsingius, P. Kuosmanen // *Journal of Electronic Imaging*, – 1999. – Vol. 8. – P. 233-245.

14. Nill N. *A Visual Model Weighted Cosine Transform for Image Compression and Quality Assessment* / N. Nill // *IEEE Transactions on Communications COM-33*. – 1985. – P. 551-557.

15. [Электронный ресурс]. – Режим доступа к док. – http://foulard.ece.cornell.edu/gaubatz/metrix_mux/

16. Estimation of accessible quality in noise image compression" / N. Ponomarenko, V. Lukin, M. Zriakhov, K. Egiazarian, J. Astola // *Proceedings EUSIPCO*. – Florence, Italy, Sept 2006. – 4 p.

17. Lossy compression of images with additive noise / N. Ponomarenko, V. Lukin, M. Zriakhov, K. Egiazarian, J. Astola // *Proceedings of International Conference on Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems*. – Antwerpen, Belgium, September 2005. – P. 381-386.

18. Methods for blind evaluation of noise variance in multichannel optical and radar images / V.V. Lukin, S.K. Abramov, N.N. Ponomarenko, B. Vozel, K. Chehdi // *Telecommunications and Radioengineering*. – 2006. – Vol. 65 (6). – P. 509-537.

19. Зряхов М.С., Лукин В.В. Обеспечение заданного качества при сжатии изображений с потерями / М.С. Зряхов, В.В. Лукин // *Радиотехника: сб. науч. тр.* – Х.: ХНУРЭ, 2005. – Вып. 143. – С. 76-82.

20. Classification of compressed multichannel remote sensing images / V.V. Lukin, N.N. Ponomarenko, A.A. Zelenky, A.A. Kurekin, K. Lever // *Proceedings of Image and Signal Processing for Remote Sensing XIV*. – Cardiff, UK, Sept. 2008. – SPIE Vol. 7109. – 12 p.

Поступила в редколлегию 19.11.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.А. Зеленский, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

ВІЗУАЛЬНА ЯКІСТЬ ЗАШУМОВАНИХ ОПТИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ПРИ ЇХ КОМПРЕСІЇ ІЗ ВТРАТАМИ

В.В. Лукін, М.М. Пономаренко, М.С. Зряхов, С.С. Кривенко

Методи стиснення оптичних зображень з втратами проаналізовано з погляду забезпечуваної візуальної якості. При цьому враховано той факт, що початкові зображення можуть бути спотворені перешкодами, зокрема, аддитивним шумом. Визначений оптимальний з погляду візуальної якості стиснення зображень крок квантування, при якому мають місце максимуми ряду метрик, використуваних для оцінки візуальної якості декомпресійних зображень. Приведено порівняльні дані для різних кодерів, зображень і дисперсій перешкод.

Ключові слова: оптичне зображення, аддитивні перешкоди, оптимальний ступінь стиснення, візуальне сприйняття, критерії якості.

VISUAL QUALITY OF NOISED OPTICAL IMAGES AFTER THEIR COMPRESSION WITH LOSS

V.V. Lukin, N.N. Ponomarenko, M.S. Zryakhov, S.S. Krivenko

The methods of compression of optical images with losses are analysed from point of the provided visual quality. Thus taken into account circumstance that initial images can be distorted hindrances, in particular, by additive noise. The optimum is certain from point of visual quality of compression of images step of quantum, at which maximums of row of birth-certificates, used for the estimation of visual quality of decompression images take place. Comparative information is resulted for different coders, images and dispersions of hindrances.

Keywords: optical image, additive hindrances, optimum degree of compression, visual perception, criteria of quality.