

УДК 621.3:681.34

А.Н. ЗЕМЛЯЧЕНКО¹, Е.О. КОЛГАНОВА², В.В. ЛУКИН¹¹ *Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина*² *Национальный авиационный университет, Киев, Украина*

УСКОРЕНИЕ СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ТРЕБУЕМЫМ ВИЗУАЛЬНЫМ КАЧЕСТВОМ

Рассмотрены методы сжатия изображений с потерями, автоматически обеспечивающие требуемое визуальное качество. Для контроля качества использованы метрики PSNR–HVS–M и MSSIM, учитывающие особенности зрения человека. Для большого числа разнообразных изображений проанализированы итеративные процедуры сжатия и показано, что число итераций может быть существенно уменьшено благодаря выбору пределов возможного изменения параметров, управляющих степенью сжатия. Результаты применения предложенных решений приведены для различных кодеров. Проведен их сравнительный анализ и показано, что коэффициент сжатия существенно зависит от характеристик сжимаемых изображений, причем он может быть заметно увеличен при использовании современных методов сжатия, разработанных с учетом визуального восприятия.

Ключевые слова: ускорение сжатия с потерями, метрики визуального качества изображений.

Введение

Активное внедрение современных технологий в средства формирования изображений привело к тому, что эта техника стала общедоступной и вышла за пределы промышленного (системы дистанционного зондирования и мониторинга поверхности Земли (ДЗ), медицинские приложения, системы документальной связи и т.д.) и профессионального использования. Одновременно стремительно улучшается разрешение систем формирования изображений, ведутся разработки стереокамер. Все эти факторы приводят к неуклонному увеличению объема получаемых данных [1]. Появление встраиваемых в современные мобильные устройства фото и видео камер также поднимает вопрос выбора метода сжатия данных при выполнении основного требования – обеспечения приемлемо высокого визуального качества сжатых изображений [1–3].

Одним из возможных подходов является использование сжатия с потерями, но без визуально заметных искажений [4]. В принципе, при сжатии можно использовать и методы сжатия без потерь, но низкие коэффициенты сжатия (КС) [2] существенно ограничивают их практическое применение. Более перспективным альтернативным решением является использование сжатия с потерями, которое обеспечивает довольно высокие значения коэффициента сжатия (КС) [5] при визуальной незаметности вносимых искажений. Однако при этом возникают сложности контроля и обеспечения требуемого визуального качества с одновременным обеспечением высоких КС при условии ограниченности вычислительных ресурсов.

При использовании подхода [5] для контроля уровня вносимых при сжатии искажений возможно использовать метрики визуального качества. Как показано в работе [6], одними из наиболее адекватных метрик, учитывающих ряд особенностей визуального восприятия изображений человеком, являются метрики PSNR–HVS–M [7] и MSSIM [8]. Кроме того, для этих метрик определено соответствие между их значениями и визуальным качеством сжатых изображений, определены пороги, при которых визуальные искажения практически незаметны [9].

Однако процедуры обеспечения требуемого визуального качества (значения используемой метрики) требуют выполнения нескольких, порядка 7...10, итераций компрессии и декомпрессии для сжимаемого изображения [10]. На это затрачиваются значительные вычислительные ресурсы, и, как следствие, возникают временные задержки между получением снимка и итоговой записью сжатого изображения на носитель или отправкой адресату.

Это является сдерживающим фактором для применения таких итеративных процедур в мобильных устройствах, системах ДЗ и для других приложений. В связи с этим актуальной является задача ускорения процедуры сжатия, например за счет уменьшения количества итераций при обеспечении заданного визуального качества при, желательно, большем КС.

Данная статья посвящена исследованию зависимости количества итераций от параметров, управляющих сжатием, и установленных значений метрик качества, уменьшению количества итераций, а также обеспечению сжатия без итеративной процедуры с обеспечением приемлемого визуального качества.

1. Существующие методы обеспечения требуемого визуального качества

Для достижения требуемого качества сжатых изображений используются, в зависимости от используемого кодера, различные управляющие параметры: шаг квантования (ШК), количество бит на пиксель (*bits per pixel – bpp*) (например, для кодера SPIHT) или параметр качества (для стандарта JPEG).

Кратко рассмотрим зависимости визуального качества, обеспечиваемого при сжатии с потерями, от параметров кодеров. Для контроля визуального качества будем использовать упомянутые ранее метрики PSNR–HVS–M [7] и MSSIM [8].

Метрика PSNR–HVS–M учитывает особенности зрительной системы человека (HVS), в её основе лежит дискретное косинусное преобразование. Значения метрики PSNR–HVS–M измеряются в децибелах, большие значения соответствуют лучшему визуальному качеству (см. зависимость на рис. 1).

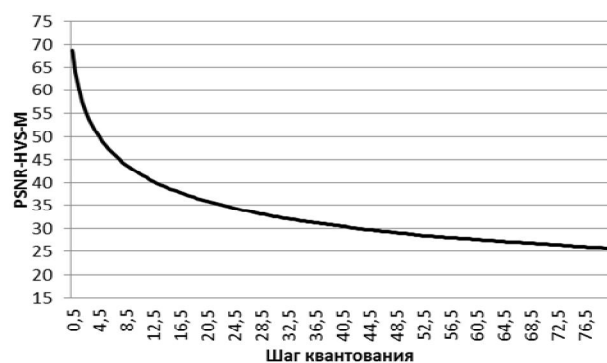


Рис. 1. Зависимость PSNR–HVS–M от ШК для изображения Barbara, сжатого кодером AGU–M [11]

Метрика MSSIM основана на вейвлет–преобразовании, диапазон изменения ее значений лежит в пределах от 0 (очень плохое качество) до 1 (отличное качество).

В связи с тем, что характеристики сжатия зависят от свойств изображений (тип и сложность текстур, мелких объектов, границ, однородных участков), в эксперименте были использованы как стандартные тестовые изображения, так и редко используемые изображения – как высоко текстурное изображение Grass, изображение с большим количеством однородных участков Pole (эти изображения приведены в [5]), изображение представляющее собой комбинацию текстовой и табличной информации (Text), изображения системы ДЗ AVIRIS [12, 13], аэрофотосъемки (Airfield) [14]. При этом из стандартных тестовых цветных изображений Baboon, Barbara и Peppers были выделены R, G и B цветовые компоненты, особенностью которых является наличие ви-

димого шума (особенно в компонентах R и B). Эти изображения использованы для определения влияния наличия шума на характеристики сжатия. Все тестовые изображения имеют одинаковые размеры 512x512 пикселей и представлены в градациях серого (8 бит/пиксель).

При установке фиксированного для всех изображений *bpp* (как это обычно делают при стремлении обеспечить нужный КС) довольно сложно добиться такого визуального качества, при котором искажения в большинстве случаев (для изображений различной сложности) практически незаметны. Как показано в [9], вносимые при сжатии с потерями искажения практически незаметны, если PSNR–HVS–M > 40 дБ или, что примерно эквивалентно, при MSSIM > 0,99.

На рис. 2 приведены значения метрики PSNR–HVS–M при использовании двух фиксированных значений *bpp*. Как видно из анализа, диапазон изменения значений метрики PSNR–HVS–M лежит в следующих пределах: для *bpp*=0,75 (КС=8/*bpp*=11,7) – от 23 до 46 дБ, для *bpp*=1,6 (КС=5) – от 30,5 до 53 дБ.

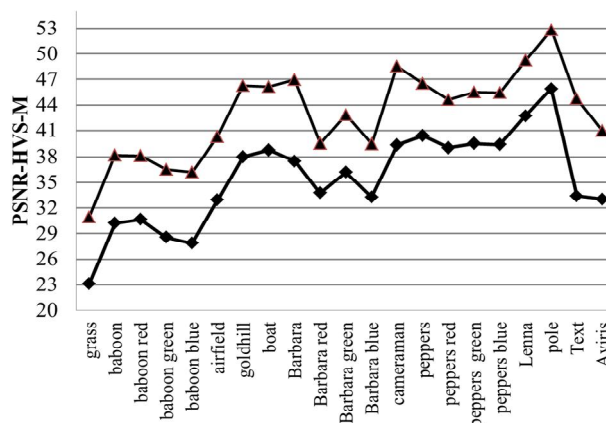


Рис. 2. Значение метрики PSNR–HVS–M для кодера AGU–M при фиксированном *bpp*=0,75 (снизу) и *bpp*=1,6 (сверху)

Следовательно, на практике использование фиксированного *bpp* для любого изображения приводит к тому, что на текстурных изображениях (таких как Grass, Baboon) и изображениях, содержащих много деталей и границ (Airfield, Text, AVIRIS, красная и голубая цветовые компоненты изображения Barbara), наблюдаются низкие значения метрики PSNR–HVS–M (<40 дБ), то есть явно видны внесенные при сжатии искажения. С другой стороны, для изображений с большим количеством однородных участков (Cameraman, Lenna, Pole) значения PSNR–HVS–M довольно высокие (>40 дБ) и, соответственно, внесенные искажения не видны.

В связи с вышеуказанным, при фиксированном *bpp* (например, 1,6) для многих изображений не достигаются такие высокие значения КС (см. рис. 3),

какие можно было бы обеспечить при подборе индивидуального значения bpr для каждого изображения при обеспечении требуемого значения метрики визуального качества. Например, изображение Lenna можно сжать с примерно вдвое меньшим bpr (вдвое большим КС) при визуально незаметных искажениях.

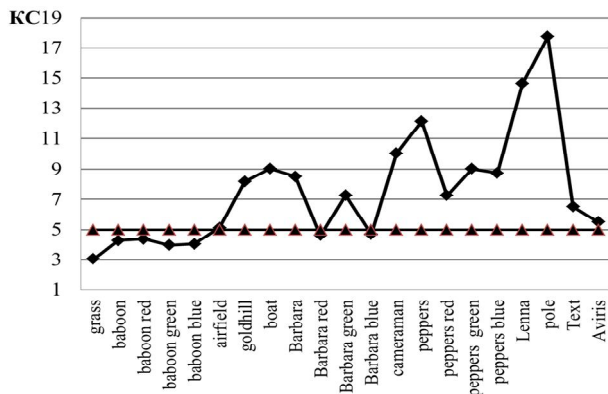


Рис. 3. Коэффициент сжатия для тестового набора изображений, сжатых кодером SPIHT, при обеспечении $PSNR-HVS-M=40$ дБ или $bpr=1,6$ (горизонтальная прямая)

Существует несколько подходов к выбору параметра, управляющего сжатием (ШК или bpr), с использованием итеративных процедур.

Первый возможный подход реализован в программном пакете [15]: обрабатываемое изображение на каждом k -м шаге сжимается с некоторым текущим значением $КС_k$ (которое определяется параметром bpr_k для SPIHT или $ШК_k$), а затем декодируется. Для декодированного изображения вычисляется $PSNR-HVS-M_k$ или $MSSIM_k$. Полученное значение $PSNR-HVS-M_k$ сравнивается с требуемым $PSNR-HVS-M_{тр}$ (или $MSSIM_k$ сравнивается с $MSSIM_{тр}$) и принимается решение, как изменить bpr или ШК на следующем шаге, чтобы приблизиться к $PSNR-HVS-M_{тр}$ или $MSSIM_{тр}$. Итерации завершаются, когда $PSNR-HVS-M_{тр}$ или $MSSIM_{тр}$ достигнуты с требуемой точностью.

Диапазон изменения ШК, задаваемый по умолчанию в программном пакете [15], реализующем этот подход, лежит в пределах 1...200, а для кодеров, использующих в качестве управляющего параметра bpr , – в пределах 0,1...8. Первая итерация происходит с фиксированным $ШК=(1+200)/2=100,5$ ($bpr = 4,05$) независимо от установленного значения метрики. При $ШК=100,5$ максимальное значение метрики $PSNR-HVS-M$ (для исследованных изображений [5]) не превышает 25 дБ, т.е. имеет место довольно низкое визуальное качество, практически неприменимое на практике. В связи с этим для стандартной процедуры выбора ШК характерно большое количество итераций, порядка 6...9 (см. данные на рис. 4 и 5).

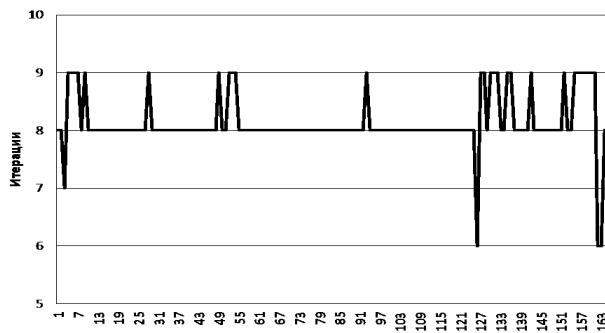


Рис. 4. Число итераций для зональных изображений 164-х канальных данных ДЗ системы HYPERION, сжатых кодером AGU-M, при обеспечении $PSNR-HVS-M=40$ дБ

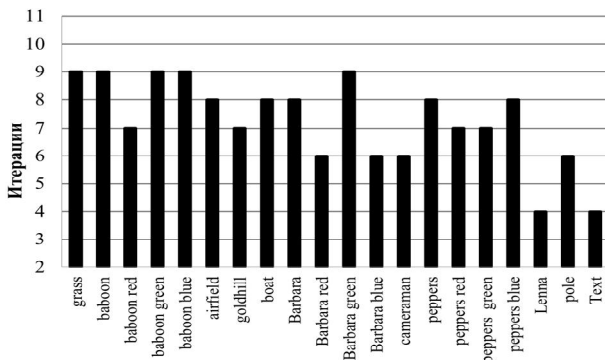


Рис. 5. Число итераций для тестового набора изображений, сжатых кодером AGU-M, при обеспечении $PSNR-HVS-M=40$ дБ

Второй подход к выбору ШК (bpr) [16] был изначально разработан для обеспечения заданного пикового отношения сигнал-шум (peak Signal-to-Noise Ratio – PSNR). Рекомендованной исходной точкой для запуска процедуры является $bpr_0=1,6$. Как показали исследования, результаты которых отображены на рис. 2, такая начальная величина bpr_0 обеспечивает $PSNR-HVS-M_0$ в пределах 31...53 дБ, то есть в достаточно широкой окрестности желаемых значений (порядка 40...44 дБ). Затем сжатое изображение восстанавливается и определяется $PSNR-HVS-M_0$. Далее значения параметров сжатия итеративно уточняются.

Отметим, что для обеих рассмотренных процедур пользователь должен обладать априорными сведениями для того, чтобы установить требуемое значение метрики $PSNR-HVS-M_{тр}$ и точность его обеспечения $\Delta PSNR-HVS-M$. Если эти параметры заранее заданы, то необходимо с допустимой точностью определить ШК или bpr , обеспечивающие $PSNR-HVS-M_{тр}$:

$$\Delta PSNR_HVS_M \leq$$

$$\leq \left| PSNR_HVS_M_{тр} - PSNR_HVS_M_{ИСТ} \right|,$$

где $PSNR-HVS-M_{ИСТ}$ – значение метрики, которое

должно забезпечуватися при іскомому bpp или ШК. Обычно достаточно найти параметры сжатия, которые обеспечивают $\Delta PSNR-HVS-M \leq 0,2$ дБ или $\Delta MSSIM \leq 0,0002$.

Рассмотрим в качестве примера итеративную процедуру обеспечения $PSNR-HVS-M_{TP}$, применимую для кодеров SPIHT и JPEG2000, для которых степень сжатия задается bpp. Если $\Delta PSNR-HVS-M$ для $PSNR-HVS-M_0$ меньше или равно заданному, то поиск $bpp_{иск}$ закончен после начальной итерации компрессии/декомпрессии. Если $\Delta PSNR-HVS-M$ больше заданного, то начинаем итеративный поиск. При этом на каждом k -м шаге проводим проверку: если $PSNR-HVS-M_k$ меньше $PSNR-HVS-M_{TP}$, то $bpp_{k+1} = bpp_k + 0,5$, где 0,5 – рекомендуемый шаг итеративной процедуры. Если же $PSNR-HVS-M_k$ больше $PSNR-HVS-M_{TP}$, то $bpp_{i+1} = bpp_i - 0,5$. Определяем $PSNR-HVS-M_{k+1}$ при bpp_{k+1} . Итерации продолжаем до тех пор, пока не выполнится либо условие

$PSNR-HVS-M_k \leq PSNR-HVS-M_{TP} \leq PSNR-HVS-M_{k+1}$, либо

$PSNR-HVS-M_{k+1} \leq PSNR-HVS-M_{TP} \leq PSNR-HVS-M_k$.

В соответствии с найденными значениями $PSNR-HVS-M_k$, $PSNR-HVS-M_{k+1}$, bpp_k , bpp_{k+1} для $PSNR-HVS-M_{TP}$ и уравнения прямой находим $bpp_{иск}$.

$$bpp_{иск} = \frac{PSNR-HVS-M_{TP} - PSNR-HVS-M_i}{PSNR-HVS-M_{i+1} - PSNR-HVS-M_i} \times (bpp_{i+1} - bpp_i) + bpp_i$$

Определяем истинное значение $PSNR-HVS-M_{ист}$ и $\Delta PSNR-HVS-M$. Если $\Delta PSNR-HVS-M \leq 0,2$ дБ, то выполняем итоговое сжатие с $bpp_{иск}$. В противном случае уменьшаем шаг, исходно равный 0,5, и проводим более точный поиск.

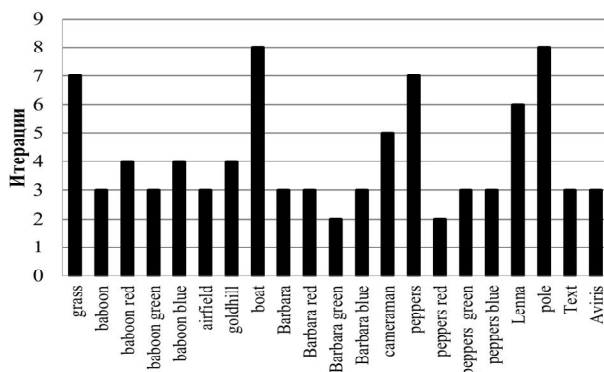


Рис. 6. Число итераций для тестового набора изображений, сжатых кодером SPIHT, при обеспечении $PSNR-HVS-M=40$ дБ

Количество итераций для такой процедуры показано для исследованного набора тестовых изображений на рис. 6. Для большинства из них оказалось достаточно выполнить три итерации, но для сжатия некоторых рассмотренных изображений приходится использовать 7 или 8 итераций.

Аналогичным образом можно реализовать процедуры для других методов сжатия с потерями. При сжатии изображений, представленных 8-битными целыми числами, с использованием методов сжатия с потерями, управляемыми шагом квантования, начальный шаг квантования целесообразно выбрать равным 10...12 и изменять его с дискретностью 2 или 3.

В более общем случае, если изображение имеет динамический диапазон от I_{min} до I_{max} , то начальное значение шага квантования целесообразно выбирать равным:

$$QS_0 \approx (I_{max} - I_{min}) / 25,$$

а изменение шага квантования в 5 раз меньше. Количество необходимых итераций для кодеров, управляемых шагом квантования, оказывается того же порядка, что и на рис. 6. Таким образом, для обеих итеративных процедур количество необходимых итераций достаточно велико, что в некоторых ситуациях делает невозможным их практическое применение.

2. Модификации итеративной процедуры

Очевидно, что для ускорения сжатия путем уменьшения числа итераций целесообразно более точно (разумно) задать пределы изменения параметров, управляющих сжатием, для процедуры [15] (фактически сузить эти пределы с учетом некоторой имеющейся и полученной каким-то образом априорной информации).

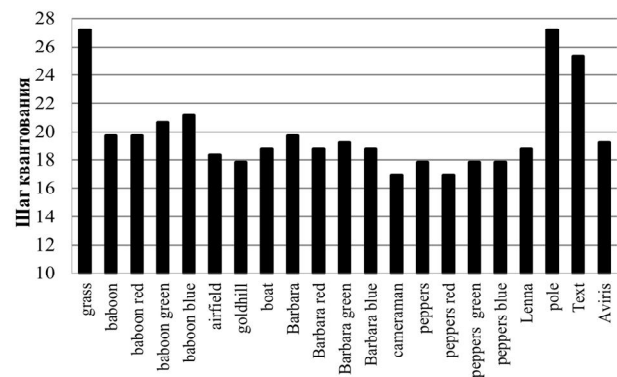


Рис. 7. Значения ШК_{иск} для тестовых изображений, сжатых кодером AGU, при обеспечении $PSNR-HVS-M=40$ дБ

Для определения взаимосвязи ШК с параметрами метрики качества проанализируем значения $ШК_{иск}$ для разных изображений и кодеров. В качестве примера рассмотрим случай использования метрики PSNR–HVS–M=40 дБ и кодеров AGU [17] и AGU–M [11] (рис. 7 и 8).

Как видно из рис. 7, значения $ШК_{иск}$ изменяются в пределах от 17 до 21, если не принимать во внимание высокотекстурное изображение Grass, изображение с большим количеством однородных участков Pole и изображение – Text. Значения $ШК_{иск}$ лежат в довольно широких пределах и, как следствие, довольно трудно задать общий $ШК_{иск}$ для всех типов изображений $ШК_{иск}$.

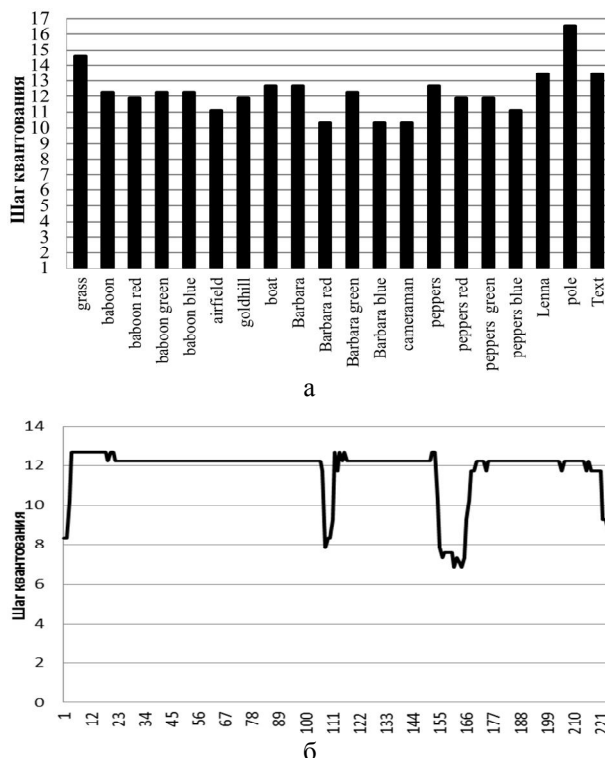


Рис. 8. Значения $ШК_{иск}$ для тестовых изображений (а) и 224-х канального гиперспектрального изображения системы ДЗ AVIRIS (б), сжатых кодером AGU–M при обеспечении PSNR–HVS–M=40 дБ

Значения $ШК_{иск}$ (рис. 8 а) при использовании кодера AGU–M, ориентированного на обеспечение более высокого визуального качества, для рассмотренных изображений, если не учитывать текстурное изображение Grass и изображение с отсутствием деталей Pole, мало отличаются. В данном случае в среднем они чуть больше 12, изменяясь в пределах от 10,2 до 13,4.

При сжатии 224-канального изображения (рис. 8 б) значения $ШК_{иск}$ для соседних каналов практически не отличаются. В целом, для всех 224-х каналов, $ШК_{иск}$ имеет среднее значение 11,8, из-

меняясь в пределах от 6,9 до 12,7. Это обусловлено тем, что для изображений с примерно одинаковой степенью сложности значения $ШК_{иск}$ оказываются примерно одинаковыми. Напомним, что изображения гиперспектрального ДЗ характеризуются высокой степенью коррелированности, особенно для соседних каналов.

Исходя из анализа зависимостей $ШК_{иск}$ от значения метрики качества, нами для итеративной процедуры [15] рассчитан диапазон изменения ШК:

- при значении PSNR–HVS–M=40 дБ диапазон изменения ШК – 4...18,2 (см. полученные результаты на рис. 9, кривая б);

- при PSNR–HVS–M=42 дБ рекомендуемый диапазон ШК – 3...14,6 (см. полученные результаты на рис. 9, кривая в);

- при PSNR–HVS–M=44 дБ диапазон ШК = 2...11,8.

При изменении начального диапазона (который был задан нами интерактивно, что возможно в программе [15]), изменился и ШК для первой итерации. Он практически совпал с требуемым для данного визуального качества $ШК_{иск}$, что видно на рис. 9, где многие изображения сжаты за одну итерацию.

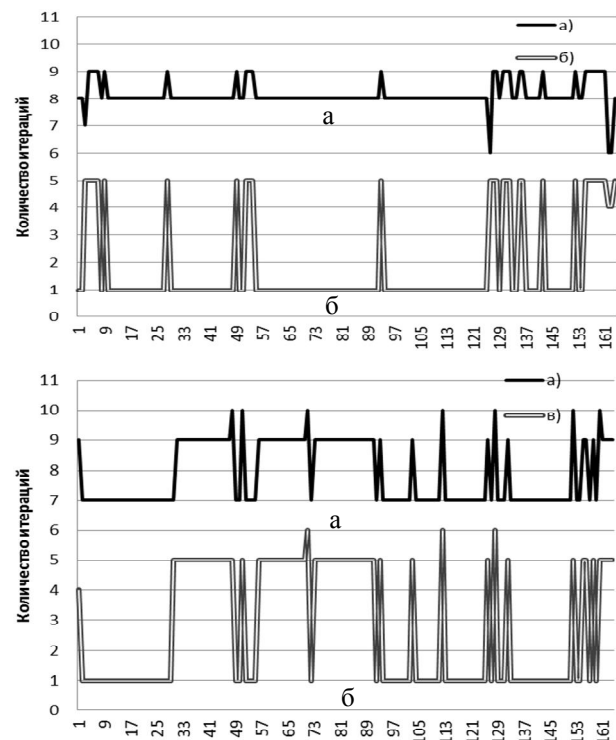


Рис. 9. Число итераций для разных каналов системы ДЗ HYPERION при PSNR–HVS–M=40 дБ (сверху) и PSNR–HVS–M=42 дБ (снизу), где: а – данные для диапазона изменения ШК от 1 до 200 (стандартный метод); б – данные для диапазона изменения ШК от 4 до 18,20 (интерактивное задание); в) диапазон изменения ШК от 3 до 14,55 (интерактивное задание).

Задание более узкого диапазона изменения ШК (рис. 9, б, в) (по сравнению со стандартным методом (рис. 9, а)) приводит к существенному уменьшению количества итераций, в среднем до 4–х раз.

Один из вариантов дополнительного ускорения процедуры сжатия с обеспечением требуемого визуального качества является отказ от итеративной процедуры и сжатие всех изображений с ШК, рекомендуемым для задаваемого значения используемой метрики. Как видно из рис. 8, при сжатии изображений кодером AGU–M с обеспечением PSNR–HVS–M=40 дБ можно использовать ШК=10. Тогда для всех изображений будет обеспечен PSNR–HVS–M \geq 40 дБ. Платой за такое ускорение сжатия является небольшое уменьшение КС по сравнению с тем, который может быть достигнут при точном обеспечении PSNR–HVS–M=40 дБ.

При поканальном сжатии данных гиперспектрального дистанционного зондирования существуют несколько возможных подходов к выбору ШК:

а) ШК может задаваться фиксированным для всего многоканального изображения в зависимости от требуемого значения метрики (см. данные на рис. 10) при условии, что изображения во всех каналах приведены к единому динамическому диапазону [12];

б) многоканальное изображение разбивается на группы в зависимости от свойств изображений (наличие помех, степень корреляции изображений соседних каналов), одно изображение этой группы сжимается с помощью итеративной процедуры, а полученный в результате ШК используется при сжатии всех изображений данной группы (см. пример ниже и данные на рис. 11).



Рис. 10. Значение метрики PSNR–HVS–M для многоканального изображения системы ДЗ HYPERION, сжатого кодером AGU (с фиксированным значением ШК=12)

При использовании кодера AGU с фиксированным ШК=12 (рис. 10) для сжатия изображения системы ДЗ HYPERION значения метрики PSNR–HVS–M лежат, в большинстве случаев, выше отметки в 42 дБ с разбросом от 41,9 до 44,3 дБ.

При использовании метода фиксированного задания ШК для достижения требуемого визуального качества рекомендуется устанавливать ШК для ко-

дера AGU–M следующим образом: при PSNR–HVS–M \approx 40 дБ установить ШК \leq 10,5; при PSNR–HVS–M \approx 42 дБ использовать ШК \leq 8,5 (рис. 11); при PSNR–HVS–M \approx 44 дБ применять ШК \leq 6,5.

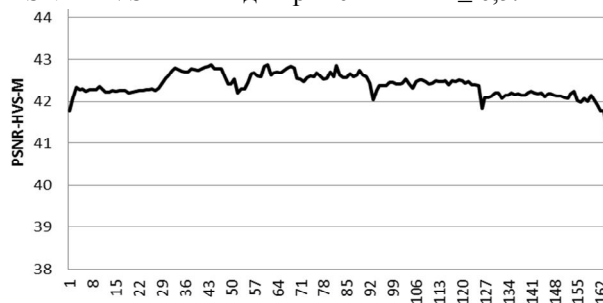


Рис. 11. Значение метрики PSNR–HVS–M для многоканального изображения системы ДЗ HYPERION, сжатого кодером AGU–M (с фиксированным значением ШК=8,5)

Из анализа данных на рис. 11 видно, что при задании ШК, равным 8,5, в большинстве случаев наблюдается PSNR–HVS–M \geq 42 дБ. При этом в данном методе декодирование и последующая оценка визуального качества не проводится, что в значительной степени увеличивает быстродействие этого подхода по сравнению с рассмотренными выше. При этом кодер AGU–M обеспечивает меньший разброс значений метрики при установке фиксированного ШК и обеспечивает большие КС по сравнению с AGU.

Для кодеров JPEG и SPIHT [18] значительно сложнее обеспечить сравнительно одинаковое визуальное качество при фиксированном значении ШК (bpp для SPIHT) для всех каналов многоканального изображения. Поэтому для этих кодеров удобнее применять метод разбиения изображения на группы, с последующим расчетом индивидуального ШК (bpp) и сжатием всех изображений в группе с этим значением ШК (bpp) (рис. 12).

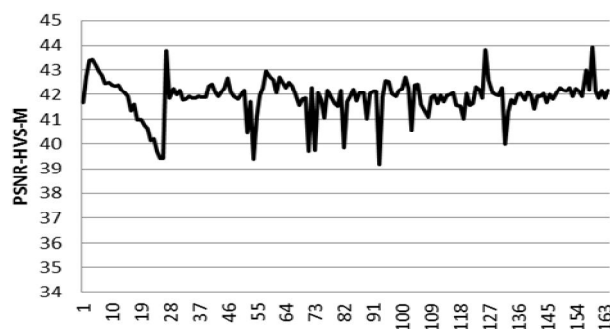


Рис. 12. Значение метрики PSNR–HVS–M для многоканального изображения системы ДЗ HYPERION, сжатого кодером SPIHT (с разбиением изображения на группы и подбором индивидуального значения bpp для группы)

На рис. 13 показаны средние значения числа итераций для разных подходов, перечисленных выше. Как видно из анализа данных на рис. 13, предложенные

методы обеспечивают значительное преимущество в быстродействии в сравнении с методами на основе итеративных процедур. При этом обеспечивая требуемое визуальное качество с небольшой (приемлемой на практике) погрешностью (рис. 11, 12).

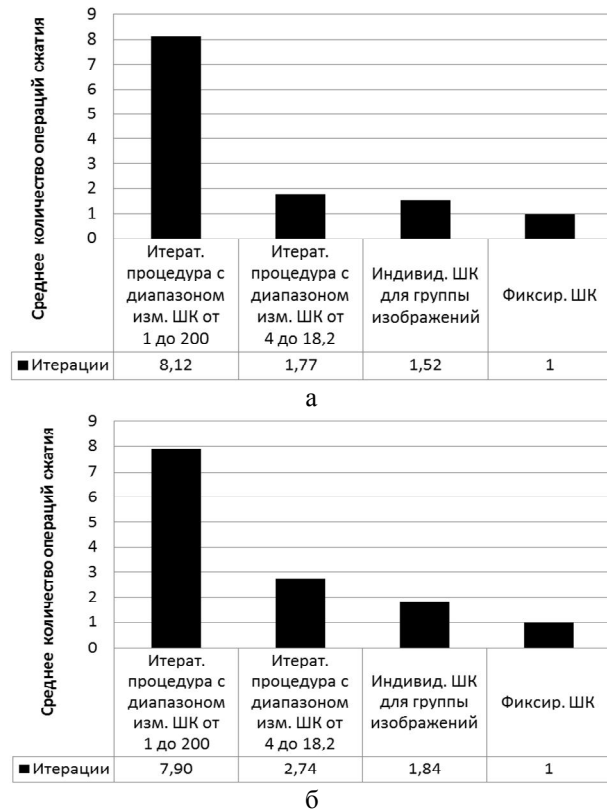


Рис. 13. Среднее количество итераций для различных способов задания ШК при обеспечении визуального качества: PSNR-HVS-M=40 дБ (а) и PSNR-HVS-M=42 дБ (б)

Особенностью всех итеративных процедур является обязательная процедура декодирования и расчета метрики визуального качества, что в результате увеличивает вычислительные затраты фактически вдвое (при одинаковых затратах на кодирование и декодирование) по сравнению с приведенными на рис. 13 данными.

Заклучение

Предложены методы повышения быстродействия сжатия изображений с обеспечением требуемого визуального качества путем: а) задания более узкого диапазона изменения ШК (применимо и к другим параметрам, управляющим сжатием с потерями); б) установки фиксированного ШК для требуемого визуального качества. Даны рекомендации по установке оптимального ШК в зависимости от требуемого значения метрики визуального качества. В дальнейшем планируется рассмотреть возможности задания фиксированного ШК для кодеров ADCT

[19] и ADCT-M [9], которые по потенциалу превосходят соответственно AGU и AGU-M.

Литература

1. Bovik, A. *Handbook on Image and Video Processing [Text]* / A. Bovik. – USA, Academic Press, 2000. – 891 p.
2. Kaarna, A. *Compression of Spectral Images [Text]* / A. Kaarna // *Vision Systems: Segmentation and Pattern Recognition – Vienna: I-Tech.* – 2007. – Vol. 1. – P. 269–298.
3. Yu, G. *Image compression systems on board satellites [Text]* / G. Yu, T. Vladimirova, M. Sweeting // *Acta Astronautica.* – 2009. – Vol. 64. – P. 988–1005.
4. Aiazzi, B. *Near-lossless compression of 3-D optical data [Text]* / B. Aiazzi, L. Alparone, S. Baronti // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing.* – Nov 2001. – Vol. 39. – P. 2547–2557.
5. Земляченко, А.Н. *Сжатие изображений без визуально заметных искажений [Текст]* / А.Н. Земляченко, В.В. Лукин // *Радиоэлектронные и компьютерные системы.* – 2011. – Вып. 3(51). – С. 73–79.
6. *Metrics Performance Comparison for Color Image Database [Text]* / K. Egiazarian, J. Astola, N. Ponomarenko, V. Lukin, F. Battisti // *Proceedings of the Second International Workshop on Video Processing and Quality Metrics, USA.* – 2009. – Vol. 6. – 6 p.
7. *On between-coefficient contrast masking of DCT basis functions [Text]* / N. Ponomarenko, F. Silvestri, K. Egiazarian, M. Carli, J. Astola, V. Lukin // *Proc. of the Third Int. Workshop on Video Processing and Quality Metrics, USA.* – 2007. – Vol. 3. – 4 p.
8. Wang, Z. *Multi-scale structural similarity for image quality assessment [Text]* / Z. Wang, E.P. Simoncelli, A.C. Bovik // *IEEE Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers.* – 2003. – Vol. 6. – 5 p.
9. *Lossy Compression of Images without Visible Distortions and Its Application [Text]* / V.V. Lukin, M.S. Zriakhov, N.N. Ponomarenko, S.S. Krivenko, Miao Zhenjiang // *Proceedings of ICSP, Beijing, China, 13–18 September 2010.* – 2010. – P. 698–701.
10. Зеленский, А.А. *Сжатие изображений с потерями без визуально заметных искажений: применение, прогресс, проблемы, перспективы [Текст]* / А.А. Зеленский, А.Н. Земляченко, С.С. Кривенко, В.В. Лукин, Н.Н. Пономаренко // *МРФ-2011. Харьков, АНПРЭ, ХНУРЭ. 18–21 октября 2011.* – С. 387–390.
11. *Visual Quality of Lossy Compressed Images [Text]* / N. Ponomarenko, S. Krivenko, V. Lukin, K. Egiazarian // *Proceedings of CADSM2009, Svalyava.* – Feb. 2009. – P. 137–142.
12. Лукин, В.В. *Особенности сжатия гиперспектральных изображений поверхности Земли [Текст]* / В.В. Лукин, А.Н. Земляченко, А.А. Зеленский, М.А. Попов, С.А. Станкевич, О.В. Титаренко // *Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, за-*

ходами в надзвичайних ситуаціях. – АР Крим. – сентябрь 2011. – С. 92–100.

13. Кривенко, С.С. Сжатие изображений дистанционного зондирования без визуально заметных искажений / С.С. Кривенко, В.В. Лукин, М.С. Зряхов, А.А. Зеленский // Радиотехника, Харків: ХНУРЕ, Том 159. – 2009. – С. 248–254.

14. Lukin, V. Lossy compression of images corrupted by mixed Poisson and additive noise [Text] / V. Lukin, S. Krivenko, M. Zriakhov, N. Ponomarenko, S. Abramov, A. Kaarna, K. Egiazarian // Proceedings of LNLA. – Helsinki. – August 2009. – P. 33–40.

15. Кривенко, С.С. Автоматизированный программный комплекс оценки визуального качества сжатых данных дистанционного зондирования [Текст] / С.С. Кривенко // Радиофизика, електроніка, фотоніка і біофізика. ІПЭ НАН України, Харків. – 2009. – С. 35.

16. Зряхов, М.С. Обеспечение заданного каче-

ства при сжатии изображений с потерями [Текст] / М.С. Зряхов, В.В. Лукин // "Радиотехника": сб. научных тр., ХНУРЕ. – 2005. – вып. 143. – С. 76–82.

17. DCT Based High Quality Image Compression [Text] / N.N. Ponomarenko, V.V. Lukin, K. Egiazarian, J. Astola // Proceedings of 14th Scandinavian Conference on Image Analysis. – Joensuu, Finland. – June 2005. – Vol. 14. – P. 1177–1185.

18. Said, A. A new fast and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees [Text] / A. Said, W.A. Pearlman // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. – 1996. – Vol. 6. – P. 243–250.

19. ADCT: A new high quality DCT based coder for lossy image compression [Электронный ресурс] / N. Ponomarenko, V. Lukin, K. Egiazarian, J. Astola // CD ROM Proceedings of LNLA. – Switzerland. – 2008. – 6 p. – Режим доступа к журн.: <http://www.lnla.com/2008/> – 01.10.2011 г.

Поступила в редакцию 17.11.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. каф. проектирования радиоэлектронных систем летательных аппаратов В.К. Волосюк, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", Харьков.

ПРИСКОРЕННЯ СТИСНЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ З НЕОБХІДНОЮ ВІЗУАЛЬНОЮ ЯКІСТЮ

О.М. Земляченко, О.О. Колганова, В.В. Лукін

Розглянуті методи стиснення зображень з втратами, які автоматично забезпечують необхідну візуальну якість. Для контролю якості використані метрики PSNR–HVS–M та MSSIM, які враховують особливості зору людини. Для великої кількості різноманітних зображень проаналізовані ітеративні процедури стиснення і показано, що число ітерацій може бути істотно зменшено завдяки вибору меж можливої зміни параметрів, що керують коефіцієнтом стиснення. Результати застосування запропонованих рішень наведені для різних кодерів. Проведено їх порівняльний аналіз і показано, що коефіцієнт стиснення істотно залежить від характеристик зображень, що стискаються, причому він може бути помітно збільшений при використанні сучасних методів стиснення, які розроблені з урахуванням візуального сприйняття.

Ключові слова: прискорення стиснення з втратами, метрики візуальної якості зображень.

ACCELERATION IMAGE COMPRESSION WITH REQUIRED VISUAL QUALITY

A.N. Zemlyachenko, E.O. Kolganova, V.V. Lukin

Automatic methods for lossy compression of images with required visual quality are considered. Metrics PSNR–HVS–M and MSSIM that take into account human vision system are used for controlling visual quality. For a large number of different images, iterative compression procedures are analyzed. It is shown that the number of iterations can be greatly reduced due to choice of the limits of possible change of parameters that control compression ratio. The results of the proposed solutions are presented for different encoders. Their comparative analysis is performed and it is shown that the compression ratio depends on characteristics of compressed images, and it can be significantly increased due to using modern compression methods tailored to visual perception.

Keywords: acceleration lossy compression, image visual quality metrics.

Земляченко Александр Николаевич – магистрант каф. приема, передачи и обработки сигналов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: hagriell@ukr.net.

Колганова Елена Олеговна – канд. тех. наук, докторант каф. защиты информации, Национальный авиационный университет, Киев, Украина.

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