

УДК 621.3:681.34

Р.А. КОЖЕМЯКИН, А.Н. ЗЕМЛЯЧЕНКО, Н.Н. ПОНОМАРЕНКО, В.В. ЛУКИН

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина***АВТОМАТИЧЕСКОЕ СЖАТИЕ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВАРИАЦИОННО-СТАБИЛИЗИРУЮЩЕГО
ПРЕОБРАЗОВАНИЯ**

Рассмотрен автоматический метод сжатия с потерями гиперспектральных изображений системы E01/Hurricane с применением к исходным данным вариационно-стабилизирующего обобщенного преобразования Энскомба (ОПЭ) на основе полученных оценок сигнално-зависимой и аддитивной гауссовской компонент шума. В результате применения ОПЭ шум сложной структуры преобразуется в чисто аддитивный с дисперсией, приблизительно равной единице, что позволяет применять унифицированный подход к сжатию с потерями. Рассчитаны коэффициенты сжатия и уровень вносимых искажений для каждого спектрального канала гиперспектрального изображения. Даны рекомендации по выбору шага квантования кодера для обеспечения сжатия изображений в окрестности оптимальной рабочей точки.

Ключевые слова: *вариационно-стабилизирующее преобразование, сжатие с потерями, гиперспектральные изображения.*

Введение

Гиперспектральные системы дистанционного зондирования (ДЗ), устанавливаемые на авиационных и космических носителях, позволяют исследовать объекты природно-экологической (сельскохозяйственной, лесной, водной) или техногенной (транспортной, промышленной, энергетической) сферы на основе анализа спектральных характеристик материалов и веществ, входящих в состав исследуемой области [1]. Однако использование большого количества спектральных каналов (зон), для которых формируются изображения, приводит к большому объёму получаемых данных ДЗ. Один гиперспектральный снимок при числе спектральных каналов порядка десятков или даже сотен может занимать несколько сотен мегабайт или даже единиц гигабайт памяти [2]. Это затрудняет процесс передачи данных по каналам связи, имеющим, как правило, ограниченную пропускную способность, с борта носителя системы ДЗ в пункт приёма, обработки и хранения информации. В связи с этим актуальной проблемой является разработка эффективных алгоритмов сжатия гиперспектральных данных ДЗ.

В связи с неидеальными характеристиками оборудования ДЗ и рядом других факторов, на практике практически на всех изображениях присутствуют помехи. Уровень помех может варьироваться в широких пределах в зависимости от спектрального канала, что создает дополнительные трудности для

задач сжатия. В некоторых спектральных каналах шум на изображениях хорошо виден, в других каналах помехи могут быть визуально незаметны [2, 3] (при большом отношении сигнал-шум). Тем не менее, они оказывают большее или меньшее влияние на решение конечных задач обработки гиперспектральных данных ДЗ.

Во многих приложениях сжатие изображений рассматривается в предположении, что помехи отсутствуют [4] или имеют аддитивный характер и нормальный закон распределения. Присутствие помех приводит к тому, что при применении методов сжатия без потерь достигаемые значения коэффициента сжатия (КС) не превосходят 2-5, а при высоком уровне помех гораздо меньше [5, 6]. Такие значения КС часто неприемлемы (недостаточно велики) для практики. Поэтому все шире используются методы сжатия с потерями.

Предположение об аддитивном характере помех также не всегда верно. Его можно в первом приближении считать справедливым для гиперспектральных изображений, формируемых сенсорами предыдущего поколения (например, AVIRIS). Однако для сенсоров нового поколения преобладающими следует считать сигнално-зависимые помехи [7, 8]. Неверные предположения о характере помех могут привести к неправильному выбору метода сжатия или неправильной установке параметров используемого алгоритма сжатия и, следовательно, к уменьшению эффективности обработки. Поэтому при сжатии изображений необходимо применять мето-

ды, учитывающие тип и конкретные характеристики помех [5].

В настоящее время предложены методы сжатия гиперспектральных изображений (ГСИ), способные обеспечить КС порядка нескольких десятков и даже более ста [9]. Однако задача сжатия изображений состоит не только (и порой не столько) в обеспечении высоких значений КС, но и в сохранении информационной составляющей (или приемлемого уровня вносимых искажений). Проблема состоит также в том, что сжатие должно выполняться автоматически, если оно реализуется на борту носителя системы ДЗ.

Реализуемость и эффективность того или иного метода сжатия с потерями также зависит от математического и алгоритмического аппарата, положенного в его основу. Большинство современных кодеров многомерных данных используют в качестве такой основы ортогональные преобразования, прежде всего, дискретное косинусное преобразование (ДКП) и различные вейвлетные преобразования [10]. Поэтому исследования проводились нами с использованием современного кодера AGU [11] на основе ДКП. Особенности его применения были ранее изучены для случаев сжатия изображений в градациях серого, искаженных аддитивным шумом и другими типами помех, а также для случая сжатия гиперспектральных изображений в предположении аддитивного характера помех [2]. Для этих случаев определены параметры кодера, обеспечивающие автоматическое сжатие в окрестности оптимальной рабочей точки (ОРТ) [12].

Одним из способов учета полученных ранее опыта и рекомендаций для случая сигнально-зависимых помех с различными характеристиками в разных каналах гиперспектральных данных, представляется применение к изображениям гомоморфного вариационно-стабилизирующего преобразования (ВСП), позволяющего получить изображения, искаженные аддитивными помехами [13].

Цель данной статьи состоит в исследовании характеристик сжатия с потерями ГСИ, искаженных помехами со сложной сигнально-зависимой структурой, а также в разработке процедур и алгоритмов обеспечения автоматического сжатия в окрестности ОРТ. Анализ проводился для данных, полученных системой ДЗ E01/Hyperion космического базирования.

1. Модель помех и свойства изображений

В гиперспектральных системах ДЗ на основе ПЗС-матриц присутствуют два основных источника шумов: фотонный шум, возникающий в результате дискретной природы света (формирование изобра-

жения осуществляется путем подсчета количества детектированных фотонов), который подчиняется пуассоновскому закону распределения, и тепловой шум (возникающий в результате нагрева аппаратуры), который можно считать аддитивным и подчиняющимся гауссову распределению. В результате этого помеха, искажающая изображение после операций калибровки, имеет сложную природу и описывается моделью одновременно присутствующих сигнально-зависимой (квази-пуассоновской) и аддитивной сигнально-независимой (гауссовой) компонент. Модель имеет вид [14]:

$$I_{ij} = n_{ij}^{\text{пуас}}(I_{ij}^{\text{ист}}, k) + n_{ij}^{\text{адд}}(g, \sigma_a^2), \quad (1)$$

где I_{ij} – зашумленный ij -й пиксель изображения;

$n_{ij}^{\text{пуас}}$ – пуассоновская компонента шума;

$I_{ij}^{\text{ист}}$ – истинное значение ij -го пикселя;

k – коэффициент коррекции динамического диапазона изображения;

$n_{ij}^{\text{адд}}$ – аддитивная компонента шума с дисперсией σ_a^2 и математическим ожиданием g , которое полагается равным нулю.

Дисперсия помех для ij -го пикселя равна $\sigma_{ij}^2 = kI_{ij}^{\text{ист}} + \sigma_a^2$. Шумы для этих двух компонент полагались независимыми и пространственно-некоррелированными.

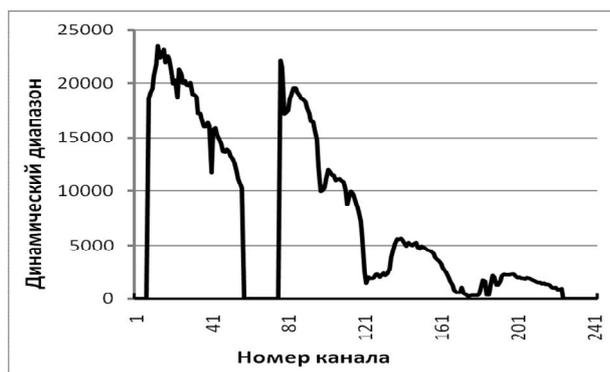
Если речь идет о ГСИ, то параметры k и σ_a^2 являются также функциями индекса спектрального канала q . Проведенные исследования [15] показали, что для данных ДЗ сенсора E01/Hyperion оценки значений k варьируются в пределах от -0,11 до 1,18, а оценки значений σ_a^2 изменяются от 6 до 4197. Метод [15] является на данный момент одним из наиболее точных в плане автоматического оценивания параметров модели (1). Вместе с тем, оценки параметров, естественно, отличаются от истинных значений. С точки зрения физических принципов формирования изображений параметр $k(q)$ не может быть отрицательным. Поэтому, если оценка $\hat{k}(q) < 1$, то для таких спектральных каналов в дальнейшем полагалось, что шум в q -м канале является чисто аддитивным с дисперсией, равной $\hat{\sigma}_a^2(q)$.

Система ДЗ E01/Hyperion формирует изображения в спектральном диапазоне от 400 до 2500 нм с линейным пространственным разрешением 30 метров и имеет 242 спектральных канала. В данных присутствуют неинформативные каналы с очень низким отношением сигнал-шум, которые автоматически обнуляются системой E01/Hyperion (каналы

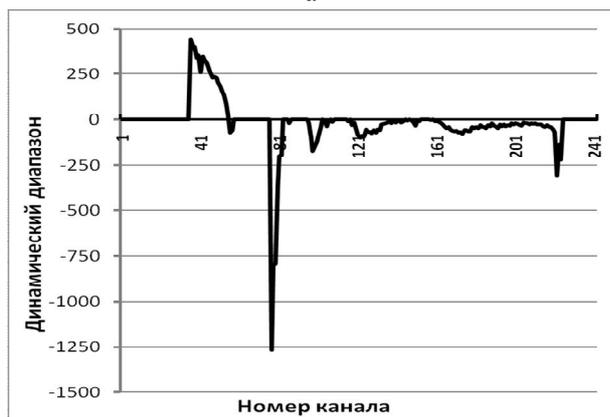
1-7, 58-78, 230-242). Поэтому в дальнейшем предположим, что данные для этих каналов анализу и сжатию не подвергаются.

Кроме того, каждая первая и последняя строка в каждом канале ГСИ E01/Нурегіон состоит из отрицательных значений, равных -32767 для разделения спектральных каналов между собой. В исследовании методов сжатия такие строки не учитывались.

Наконец, динамический диапазон значений для разных каналов существенно различен. На рис. 1 представлены максимальное (рис. 1,а) и минимальное (рис. 1,б) значения изображений в разных спектральных каналах, характеризуемых их номером (индексом, горизонтальная ось). Видно, что динамический диапазон представления данных, описываемый разностью максимального и минимального значений, изменяется в широких пределах в зависимости от спектрального канала. Также в большинстве спектральных каналов наблюдается присутствие отрицательных значений (рис. 1,б), обусловленных воздействием аддитивной компоненты шума (см. модель (1)) [16].



а



б

Рис. 1. Минимальное (а) и максимальное (б) значение динамического диапазона ГСИ

2. Особенности предварительной обработки

При сжатии изображений, искаженных сиг-

нально-зависимыми помехами, возможны два подхода [7, 8]. При использовании первого подхода изображения сжимаются без какого-либо предварительного преобразования данных. Для второго подхода используются те или иные преобразования, чаще всего гомоморфные.

Известно, что для модели помех (1) существует ВСП, названное обобщенным преобразованием Энскомба [14] (ОПЭ):

$$X_{ij} = 2/\hat{k} \cdot (\hat{k} \cdot I_{ij} + 3/8 \cdot \hat{k}^2 + \hat{\sigma}_a^2 - \hat{k} \cdot g)^{1/2}, \quad (2)$$

где в данном случае \hat{k} , $\hat{\sigma}_a^2$ — оценки параметров сигнально-зависимой помехи. С учетом отмеченной выше зависимости этих параметров (или их оценок) от индекса канала, преобразование (1) должно выполняться поканально с соответствующими значениями \hat{k} и $\hat{\sigma}_a^2$. Если же $\hat{k} < 0$, то для всех пикселей выполняется нормировка вида $X_{ij} = I_{ij} / \hat{\sigma}_a$.

Согласно теории после применения такого ОПЭ, помехи становятся аддитивными с дисперсией, приблизительно равной единице, причем во всех каналах преобразованного ГСИ. При этом также происходит сужение динамического диапазона изображений, что часто является положительным фактором для повышения эффективности сжатия.

Как следует из (2), применение ОПЭ является возможным для неотрицательных значений пикселей ГСИ (вернее, если подкоренное выражение неотрицательно). Однако в обрабатываемых реальных данных имелось и значительное количество отрицательных значений, обусловленных влиянием аддитивной компоненты помех с нулевым средним. Чтобы избежать этой проблемы авторами предложено сдвигать динамический диапазон спектрального канала в область положительных чисел, если имеются отрицательные значения пикселей. Величина сдвига при этом должна быть равна модулю минимального отрицательного значения $|I_{\min}(q)|$. При этом при применении ВСП (2) предполагается, что аддитивная помеха имеет ненулевое математическое ожидание $g(q) = |I_{\min}(q)|$. Значение $|I_{\min}(q)|$ для каждого канала запоминается и кодируется как служебная информация. Для каналов с $\hat{k} < 0$ выполнять сдвиг нет необходимости.

Тогда после декодирования на приемной стороне для каналов с $\hat{k} > 0$ выполняется обратное ВСП [17]

$$X_{ij}^{\text{обр}} = (X_{ij} / 2)^2 \cdot \hat{k} - 3/8 \cdot \hat{k} - \hat{\sigma}_a^2 / \hat{k} + g \quad (3)$$

(для каждого спектрального канала используются индивидуальные значения $\hat{k}(q)$, $\hat{\sigma}_a^2(q)$, $g(q)$, также являющиеся служебной информацией. После ВСП

из каждого значения вычитается $|I_{\min}(q)|$, в результате получают декодированное изображение.

3. Процедура автоматического сжатия

Вследствие того, что на ГСИ могут присутствовать как положительные, так и отрицательные значения пикселей, прямое применение многих кодеров (или, по крайней мере, их доступных реализаций) на основе ортогональных преобразований (AGU, ADCT, JPEG, JPEG2000, SPIHT) не является возможным.

Кроме того, обычно кодеры работают с целочисленными 8-битными числами, в то время как ГСИ представлены 16-битными значениями, а после ОПЭ значения пикселей не являются целыми. 16-битный динамический диапазон возможно практически без визуальных искажений преобразовать в 8-битный, а нецелые числа округлить. Однако применение этих операций приводит к появлению дополнительной служебной информации (о параметрах сдвига и преобразований динамического диапазона), которую надо кодировать, и дополнительным вносимым искажениям (вследствие, например, ошибок округления).

Чтобы устранить эти проблемы, нами была разработана модифицированная версия кодера AGU, способная сжимать двумерные массивы реальных действительных чисел, которые могут быть как положительными, так и отрицательными. В результате модификации стало возможным сжимать ГСИ без внесения указанных выше искажений. Кроме того, причиной использования при исследованиях кодера AGU является то, что он является достаточно простым, обладающим высокими быстродействием и эффективностью [11].

Напомним, что управляющим параметром для кодера AGU является шаг квантования (ШК), который после ВСП может быть установлен одинаковым для всех спектральных каналов ГСИ и равным:

$$\text{ШК} = \beta \sigma, \quad (4)$$

где β – настроечный параметр, управляющий степенью сжатия и уровнем вносимых искажений; σ – СКО шума. Таким образом, достоинством сжатия с применением ОПЭ является простота алгоритма благодаря использованию одного и того же значения ШК (4) для всех спектральных каналов: $\text{ШК} = \beta \sigma_{\text{опэ}} = \beta$, поскольку после ОПЭ вида (2) получаем $\sigma_{\text{опэ}} = 1$.

В принципе, к ГСИ можно применять и традиционный (прямой) подход к поканальному сжатию (без использования ОПЭ). В этом случае для каждого спектрального канала необходимо использовать индивидуальное значение ШК, так как помехи в

различных каналах имеют разный уровень. Формула вычисления ШК для спектрального канала имеет вид

$$\text{ШК}_q = \beta \sigma_{\text{экв}_q}, \quad (5)$$

где $\sigma_{\text{экв}_q}^2 = \hat{k}_q I_{\text{ср}_q} + \hat{\sigma}_{a_q}^2$ – значение эквивалентной дисперсии помех, $I_{\text{ср}_q}$ – среднее значение пикселей в данном канале, q – номер спектрального канала.

Для определения эффективности сжатия параллельно с КС была использована традиционная метрика качества – среднеквадратическая ошибка (СКОи-д) между исходным и декодированным изображением:

$$\text{СКО}_{\text{и-д}} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (I_{ij} - I_{ij}^{\text{дек}})^2 / IJ, \quad (6)$$

где $I_{ij}^{\text{дек}}$ – декодированное изображение; I, J – количество строк и столбцов в изображении. Значение СКОш определялось отдельно для каждого канала ГСИ.

Для поканального сжатия в окрестности ОРТ как для прямого метода, так и для метода на основе ОПЭ, необходимо, чтобы вносимые кодером искажения были приблизительно равны эквивалентной дисперсии помех исходного спектрального канала [7, 8]:

$$\text{СКО}_{\text{и-д}} \approx \sigma_{\text{экв}}^2. \quad (7)$$

При этом в окрестности ОРТ достигается минимум величины $\text{СКО}_{\text{ист-д}} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (I_{ij}^{\text{ист}} - I_{ij}^{\text{дек}})^2 / IJ$,

которую при отсутствии истинного изображения $I_{ij}^{\text{ист}}$ на практике рассчитать не представляется возможным.

Приведенное выше условие (7) может быть достигнуто за счет определения соответствующего значения ШК, которое зависит от степени сложности изображения и характеристик помех. Для прямого подхода одним из возможных вариантов определения ШК (5), соответствующего ОРТ, состоит в использовании итеративной процедуры, разработанной ранее для одноканальных изображений [8].

На первом этапе для стартового значения ШК рассчитывается значение метрики СКОи-д и сравнивается с $\sigma_{\text{экв}}^2$. Если $\text{СКОи-д} > \sigma_{\text{экв}}^2$, то необходимо уменьшать ШК, и, наоборот, увеличивать ШК, если $\text{СКОи-д} < \sigma_{\text{экв}}^2$. Процедура повторяется до тех пор, пока не будет достигнута заданная точность погрешности $\Delta = \left| \text{СКО}_{\text{и-д}} - \sigma_{\text{экв}}^2 \right|$. Недостатком данной процедуры может являться большое количество

итераций и, следовательно, высокое время расчета.

Если используется ОПЭ, то может быть применена аналогичная итеративная процедура. Ее особенности состоят в следующем. Если это необходимо, то вычисляется параметр сдвига динамического диапазона $|I_{\min}(q)|$. К ГСИ, с учетом сдвига, поканально применяется ОПЭ на основе оценок шума, полученных методом [15], и параметра $|I_{\min}(q)|$. Для каждого из каналов запускается итеративная процедура сжатия, предусматривающая на каждом шаге сжатие модифицированным кодером AGU; декомпрессию, обратное ВСП (3), вычитание введенного сдвига, расчет (6) и принятие решения об измерении шага квантования или завершении процедуры.

4. Анализ полученных результатов

Нами было проведено сравнение значений КС, достигаемых для прямого подхода к поканальному сжатию и подхода к автоматическому поканальному сжатию с применением ОПЭ. В обоих случаях для каждого канала обеспечивалось условие (7). Сравнение показало, что для обоих подходов наблюдаются практически одинаковые значения КС (отличия не превосходят нескольких процентов).

Нами была также исследована возможность автоматического сжатия с применением ОПЭ без использования итеративной процедуры. Для данных системы E01/Нурегіон при применении кодера AGU были исследованы различные значения ШК (от 2 до 5). Результаты в логарифмическом масштабе пред-

ставлены на рис. 2 для трех различных значений ШК. Как показывают результаты (см. рис. 2), выбор ШК=3,5 позволяет автоматически обеспечить выполнение требования (7) независимо от типа изображений и уровней помех.

Меньшее значение ШК = 2,5 (рис. 2) и большее значение ШК = 4,5 приводят к ситуации, когда значения СКОи-д соответственно больше и меньше значения $\sigma_{\text{экв}}^2$, что не соответствует условию попадания в окрестность ОПТ. Вместе с тем, значения ШК, больше 3,5, могут использоваться, если требования по КС являются жесткими и их не удается удовлетворить при установке ШК = 3,5.

На рис. 3 представлено значение КС в зависимости от номера спектрального канала ГСИ после сжатия в окрестности ОПТ модифицированным кодером AGU на основе ОПЭ, а также широко распространенным архиватором RAR, который позволяет сжимать данные без потерь. Из анализа данных видно, что, в среднем, значение КС находится в пределах от 5 до 7 для сжатия предложенным методом (AGU с ОПЭ), а для метода сжатия без потерь (архиватор RAR) значения КС лишь немного больше 1. Для спектральных каналов 7-20, 120-130, 165-180 выигрыш по КС достигает 7-25 раз, вследствие наличия более интенсивного шума, что позволяет вносить больше потерь, в то время как RAR обеспечивает приблизительно одинаковый КС для всех каналов ГСИ.

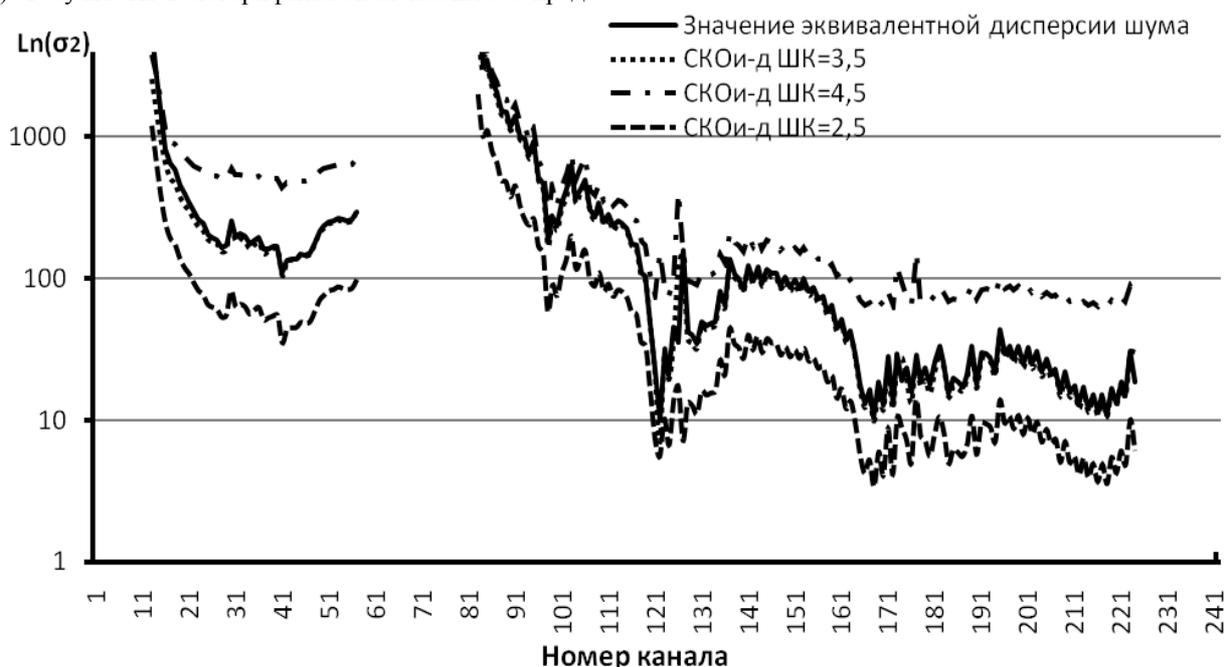


Рис. 2. Значение метрики СКОи-д в логарифмическом масштабе зависимости от номера спектрального канала при ШК = 2,5, ШК = 3,5 и ШК = 4,5

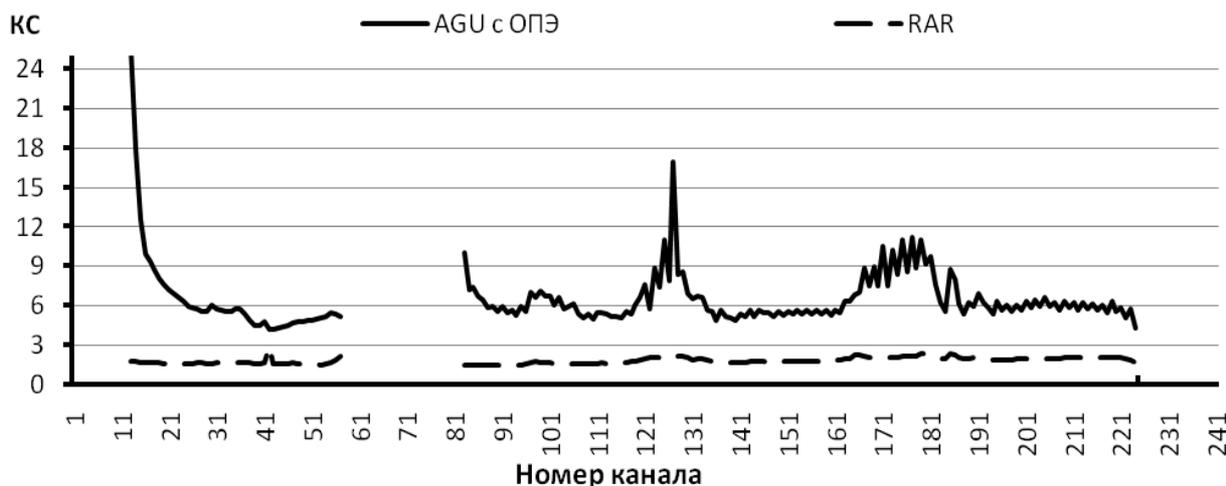


Рис. 3. Значение КС, полученные кодером AGU в ОПЭ и кодером RAR

Гистограммы распределения значений пикселей для части исходного 35-го канала ГСИ (рис. 4,а) и после применения сжатия предложенным методом (рис. 4,б) практически не отличаются. Это говорит о том, что сжатие модифицированным кодером AGU вносит несущественные искажения, приходящиеся, в основном, на подавление помех.

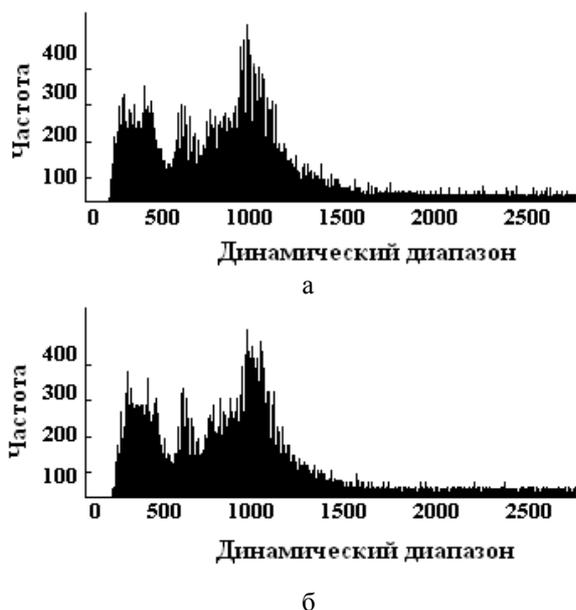


Рис. 4 Гистограммы распределения значений пикселей для исходного (а) и декодированного (б) 35-го канала ГСИ

На рис. 5 представлен фрагмент изображения в 220-м канале ГСИ до (рис. 5,а) и после (рис. 5,б) сжатия кодером AGU в окрестности ОПЭ с применением ОПЭ. Видно, что на однородных участках хорошо заметен эффект фильтрации шума. В каналах же с высоким отношением сигнал-шум данный эффект может быть визуально незаметен. Следует

ожидать, что подавление помех обеспечит лучшую дешифровку ГСИ [2].

Заключение

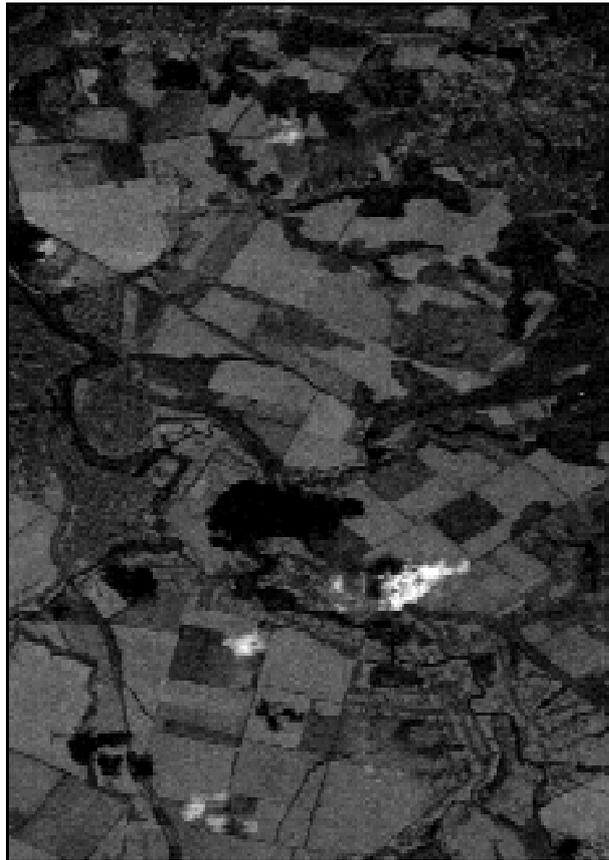
Исследована эффективность сжатия ГСИ системы ДЗ E01/Нурегіон модифицированным кодером AGU с применением к исходным данным модифицированного ВСП на основе ОПЭ с учетом характеристик сложных помех.

Предложен метод автоматического сжатия ГСИ, искаженных смесью сигнально-зависимых пуассоновских и аддитивных сигнально-независимых гауссовских помех, в окрестности ОПЭ. Показано, что предложенный метод сжатия обеспечивает КС порядка 5-7 раз для большинства спектральных каналов, что существенно больше, чем при сжатии без потерь.

Даны рекомендации по выбору ШК, показано, что значение ШК = 3,5 обеспечивает работу предложенного метода сжатия в окрестности ОПЭ без итеративной процедуры.

Литература

1. Картирование техногенных загрязнений урбанизированных территорий по материалам гиперспектральной космосъемки [Текст] / М.А. Попов, В.В. Лукин, С.А. Станкевич, М.С. Зряхов, Л.П. Лиценко, В.Н. Подорван, С.С. Кривенко // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. – 2010. – Т. 23 (62), № 2. – С. 232-241.
2. Сжатие гиперспектральных изображений с потерями и их классификация [Текст] / В.В. Лукин, С.С. Кривенко, М.С. Зряхов, М.А. Попов, С.А. Станкевич, Л.П. Лиценко // Авиационно-космическая техника и технология. – 2011. – № 1(79). – С. 77-85.



а



б

Рис. 5. 220-й канал ГСИ до (а) и после (б) сжатия кодером AGU с применением ОПЭ

3. 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. – Scottsdale, Arizona, USA. – Jan. 2007. – 4 p.

4. Чобану, М.К. Многомерные многоскоростные системы обработки сигналов [Текст] / М.К. Чобану. – М.: Техносфера, 2009. – 480 с.

5. Сжатие изображений дистанционного зондирования без визуально заметных искажений [Текст] / С.С. Кривенко, В.В. Лукин, М.С. Зряхов, А.А. Зеленский // Радиотехника. – 2009. – Том 159. – С. 248-254.

6. Bo, L. Remote-Sensing Image Compression Using Two-Dimensional Oriented Wavelet Transform [Text] / L. Bo, Y. Rui // Geoscience and Remote Sensing. – 2011. – Vol. 49(1). – P. 236-250.

7. Автоматическое сжатие изображений при сигнально-зависимых помехах в окрестности оптимальной рабочей точки [Текст] / А.Н. Земляченко, Р.А. Кожемякин, С.К. Абрамов, В.В. Лукин // Авиационно-космическая техника и технология. – 2012. – № 3 (90). – С. 99-107.

8. Автоматическое сжатие изображений в окрестности оптимальной рабочей точки с учетом визуальной модели восприятия человека при сигнально-зависимых помехах [Текст] / А.Н. Земляченко, Р.А. Кожемякин, С.К. Абрамов, В.В. Лукин, М.К. Чобану // Авиационно-космическая техника и технология. – 2012. – № 6 (93). – С. 99-108.

9. Christophe, E. Hyperspectral Image Compression: Adapting SPIHT and EZW to Anisotropic 3-D Wavelet Coding [Text] / E. Christophe, C. Mailhes, P. Duhamel // IEEE transactions on image processing. – 2008. – Vol. 17, №. 12. – P. 2334-2346.

10. Zhang, J. A novel classified residual dct for hyperspectral images scalable compression [Электронный ресурс] / J. Zhang, L. Guizhong. – Режим доступа: <http://www.citeseerx.ist.psu.edu>. – 04.03.2013.

11. 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

12. Адаптивное автоматическое сжатие гиперспектральных изображений с потерями [Текст] / Н.Н. Пономаренко, М.С. Зряхов, В.В. Лукин, С.К. Абрамов, А.А. Зеленский, // Работы 6-й МНТК "Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях", Киев-Харьков-Крым, 2007. – С. 226-227.

13. Особенности сжатия изображений при сигнально-зависимых помехах [Текст] / М.С. Зряхов, С.С. Кривенко, С.К. Абрамов, Н.Н. Пономаренко, В.В. Лукин // Авиационно-космическая техника и технология. – 2011. – № 2 (79). – С. 87-95.

14. Murtagh, F. *Astronomical image and signal processing [Text]* / F. Murtagh, J.L. Starck // *Signal Processing Magazine, IEEE*. – 2001. – Vol. 18 (2). – P. 30-40.

15. *Maximum Likelihood Estimation of Spatially Correlated Signal-Dependent Noise in Hyperspectral Images [Text]* / M. Uss, B. Vozel, V. Lukin, K. Chehdi // *Optical Engineering*. – 2012. – Vol. 51(11). – 12 p.

16. Barry, P. *EO-1 Hyperion Science Data User's*

Guide, Level 1_B [Электронный ресурс] / P. Barry // *TRW Space, Defense & Information Systems*. – 2001. – 65 p. – Режим доступа: http://www.eoc.csiro.au/hswwww/oz_pi/docs/EO1HSDDataUsersGuide.pdf. – 04.03.2013.

17. Makitalo, M. *Optimal inversion of the generalized Anscombe transformation for Poisson-Gaussian noise* / M. Makitalo, A. Foi // *IEEE Trans Image Process.* – 2013. – Vol. 22(1). – P. 91-103.

Поступила в редакцію 04.03.2013, рассмотрена на редколлегии 13.03.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. каф. «Проектирование радиоэлектронных систем летательных аппаратов» Э.Н. Хомяков, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", г. Харьков.

АВТОМАТИЧНЕ СТИСНЕННЯ ГІПЕРСПЕКТРАЛЬНИХ ЗОБРАЖЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ВАРІАЦІЙНО-СТАБІЛІЗУЮЧОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ

Р.О. Кожемякін, О.М. Земляченко, М.М. Пономаренко, В.В. Лукін

Розглянуто автоматичний метод стиснення з втратами гіперспектральних зображень системи E01/Hyperion із застосуванням до вихідних даних варіаційно-стабілізуючого узагальненого перетворення Енскомба (УПЕ) з використанням отриманих оцінок сигнально-залежної та адитивної гаусівської компонент завад. В результаті застосування УПЕ шум складної структури перетворюється в чисто адитивний з дисперсією, приблизно рівній одиниці, що дозволяє застосовувати уніфікований підхід до стиснення з втратами. Розраховано коефіцієнти стиснення і рівень внесених спотворень для кожного спектрального каналу гіперспектрального зображення. Надано рекомендації по вибору кроку квантування кодера для забезпечення стиснення зображень в околі оптимальної робочої точки.

Ключові слова: варіаційно-стабілізуючі перетворення, стиснення з втратами, гіперспектральні зображення.

AN AUTOMATIC HYPERSPECTRAL IMAGE COMPRESSION BY USING OF THE VARIANCE-STABILIZING TRANSFORMATION

R.A. Kozhemiakin, A.N. Zemliachenko, N.N. Ponomarenko, V.V. Lukin

An automatic method for lossy compression of hyperspectral images system E01/Hyperion with the use of generalized variance-stabilizing (VST) Anscombe transformations based on the estimates of signal-dependent and additive Gaussian noise components is considered. After applying of VST a complex noise is transformed into a purely additive with a variance approximately equal to one, which allows use of the unified approach to lossy compression. The compression ratio and the level distortion for each spectral channel hyperspectral image are presented. Recommendations on selecting of the encoder quantization step for image compression in the neighborhood of the optimal operating point are given.

Keywords: variance-stabilizing transformations, lossy compression, hyperspectral images.

Кожемякин Руслан Александрович – аспирант каф. «Приема, передачи и обработки сигналов», Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», г. Харьков, Украина, e-mail: Arctic818@gmail.com.

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

Пonomarenko Николай Николаевич – д-р техн. наук, доцент, доцент каф. «Приема, передачи и обработки сигналов», Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», г. Харьков, Украина, e-mail: uagames@mail.ru.

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», г. Харьков, Украина, e-mail: lukin@ai.kharkov.com.