

УДК 621.3:681.34

А. Н. ЗЕМЛЯЧЕНКО<sup>1</sup>, Е. Н. КОЛГАНОВА<sup>2</sup>, В. В. ЛУКИН<sup>1</sup>, М. К. ЧОБАНУ<sup>3</sup><sup>1</sup> *Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина*<sup>2</sup> *Национальный авиационный университет, Украина*<sup>3</sup> *Национальный исследовательский университет «МЭИ», Российская Федерация*

## ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ И СЖАТИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ИСКАЖЕННЫХ АДДИТИВНЫМИ ПОМЕХАМИ

*Проанализированы эффекты, наблюдаемые при фильтрации и сжатии с потерями изображений, искаженных аддитивными помехами. Показано, что использование предварительной фильтрации, в частности, на основе дискретного косинусного преобразования, позволяет достичь подавления помех и более высокого визуального качества сжатых после фильтрации изображений, чем только сжатие с потерями. Однако эти эффекты проявляются только при определенном образом выбранных параметрах метода сжатия. Даны соответствующие рекомендации по выбору параметров кодеров, применяемых на этапе сжатия.*

**Ключевые слова:** сжатие изображений с потерями, фильтрация, аддитивный шум.

### Введение

Увеличение количества изображений, получаемых различными системами дистанционного зондирования (ДЗ) авиационного и космического базирования, системами видеонаблюдения, медицинской диагностики и т.п., а также тенденция к увеличению размеров этих изображений, привели к необходимости использовать их сжатие до передачи по каналам связи, а также перед долговременным хранением [1]. Методы сжатия без потерь часто не удовлетворяют требованиям к коэффициенту сжатия (КС), который необходимо (желательно) обеспечить, поскольку для них КС обычно не превышает 2 и лишь для гиперспектральных систем ДЗ достигает 4...5 [2]. Современные методы сжатия с потерями способны обеспечить существенно большие значения КС [3, 4], однако при этом уровень потерь должен быть приемлемым в соответствии с критерием, выбор которого зависит от конкретного приложения. Для некоторых приложений по-прежнему используются стандартные среднеквадратические критерии сжатия с потерями, например, СКО или пиковое отношение сигнал-шум (ПОСШ), для систем сжатия данных ДЗ не менее важен такой критерий как вероятность правильной классификации после сжатия [5], а для оптических изображений (например, цифровых фотографий) важно визуальное качество, поэтому используются соответствующие метрики [4].

Для многих приложений сжатия с потерями предполагается, что шум отсутствует [3] (при определенном уровне помех он может быть визуально незаметен [6]). Вместе с тем, для многих типов изображений, например сформированных радиолокато-

рами с синтезированной апертурой, присутствие шума очевидно [7]. Аналогично помехи хорошо заметны для примерно 10-20% каналов гиперспектральных данных ДЗ с аэрокосмических носителей [8]. Помехи часто видны и на оптических (цветных) изображениях, полученных цифровыми фотоаппаратами в условиях плохой освещенности [9, 10].

В случае присутствия помех сжатие с потерями изображений имеет свою специфику как в плане наблюдаемых эффектов (частичной фильтрации помех), так и критериев эффективности сжатия, которые необходимо использовать. Пионерскими в этом плане являются работы [11, 12], авторами которых был обоснован новый подход к анализу вносимых искажений. Обычно рассматривают зависимость среднеквадратической ошибки (СКОш) вносимых искажений, рассчитываемой для исходного (сжимаемого) и сжатого изображений от КС или другого параметра, например  $bpp$  (bits per pixel). Взамен авторы [11, 12] предложили анализировать зависимости СКОш вносимых искажений, рассчитываемой для сжатого изображения относительно изображения без помех, от КС или  $bpp$ . Анализ, проведенный в работах [7, 11-14], позволил продемонстрировать возможность существования оптимальной рабочей точки (ОРТ), для которой СКОш между сжатым изображением и соответствующим изображением без помех минимальна. В последние годы возможность существования ОРТ была продемонстрирована и для нескольких других метрик качества сжатых изображений [15].

Вместе с тем, крайне редко в литературе рассматривается другая возможность обеспечения высокого качества изображения, искаженного помехами и сжатого с потерями, связанная с предварительной

фильтрацией этого изображения до сжатия, которая потенциально более эффективна. Такой подход, в частности, предложен для радиолокационных изображений [16], очень бегло он рассмотрен для оптических изображений в [13], а также для многоканальных изображений в [5, 17, 18]. Однако в работе [18] рассмотрены несовременные фильтры. Более того, ни в одной из этих работ анализ не проводится с учетом метрик визуального качества, ставших в последние годы не просто популярными, но и реальным инструментом оценивания качества изображений после сжатия с потерями [19-21].

В связи с этим целью данной статьи является анализ (в том числе с использованием современных метрик визуального качества) эффективности применения предварительной фильтрации изображений, искаженных помехами и подвергаемых в дальнейшем сжатию с потерями. Задача состоит также в том, чтобы определить, при каких условиях применение такой фильтрации целесообразно и какими должны быть параметры кодера, применяемого к предварительно обработанному изображению.

## 1. Модель помех

Превалирующей помехой, присутствующей на изображениях, будем на данном этапе исследований считать аддитивный Гауссов шум [9]. Тогда можно использовать модель:

$$I_{ij} = I_{ij}^{\text{ист}} + n_{ij}^{\text{ш}}, \quad (1)$$

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

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

$n_{ij}^{\text{ш}}$  – аддитивная (сигнально-независимая) компонента шума с математическим ожиданием, полагаемым равным 0, и дисперсией  $\sigma_a^2$ .

Продемонстрируем, как выглядят изображения, искаженные такими помехами. На рис. 1 приведен фрагмент исходного изображения Aerial (а) и фрагмент это же изображения, искаженного помехами с дисперсией  $\sigma_a^2 = 100$  (б), которые описываются моделью (1). Как видно, помехи хорошо заметны, особенно на однородных участках изображения (на текстурных участках из-за эффектов маскирования, они менее заметны).

На практике доступны только зашумленные изображения, однако, при моделировании есть возможность использовать истинное изображение и изображение после генерирования и добавления шума с заданным значением  $\sigma_a^2$ .



а



б

Рис. 1. Фрагмент незашумлённого (а) и зашумленного (б) тестового изображения Aerial

## 2. Метрики контроля эффективности обработки изображений

Общепринятой метрикой при исследовании методов сжатия с потерями изображений является среднеквадратическая ошибка, рассчитываемая для сжимаемого и декодированного изображений. Эта метрика при увеличении КС ведёт себя традиционно, возрастая при увеличении КС. Поэтому в случае анализа случаев сжатия предварительно отфильтрованных изображений и при сжатии с потерями изображений, искаженных помехами, среднеквадратическую ошибку (СКОи-д) целесообразно рассчитывать (при условии наличия истинного, то есть незашумленного изображения) между истинным и декодированным изображением:

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

где  $I_{ij}^{ист}$  – истинное изображение;  $I_{ij}^{дек}$  – декодированное изображение;  $I, J$  – количество строк и столбцов в изображении.

При использовании современных метрик визуального качества, таких как PSNR-HVS-M, MSSIM, FSIM, применяются аналогичные подходы к контролю качества изображений [15].

Метрика PSNR-HVS-M [22] позволяет учитывать эффекты маскирования и различную чувствительность зрения человека к разным пространственным частотам. Она рассчитывается с использованием таблицы квантования с увеличивающимся шагом квантования спектральных компонент дискретного косинусного преобразования (ДКП) при увеличении пространственной частоты.

Значения метрики PSNR-HVS-M измеряются в децибелах, большие значения соответствуют лучшему визуальному качеству. Определяется эта метрика по формуле:

$$PSNR-HVS-M_{и-д} = 10 \lg(255^2 / MSE_{HVS-M}),$$

где  $MSE_{HVS-M}$  рассчитывается с учетом особенностей визуального восприятия человека в соответствии с выражением:

$$MSE_{HVS-M} = K \sum_{i=1}^{I-7} \sum_{j=1}^{J-7} \sum_{n=1}^8 \sum_{m=1}^8 (I(n,m)_{ij}^{дек} - I(n,m)_{ij}^e) \times T_c(n,m)^2,$$

где  $K=1/(I-7)/(J-7)/64$ ,  $I_{ij}^{дек}$  – коэффициенты ДКП блока искаженного изображения размером 8x8 пикселей с координатами верхнего левого угла,  $I_{ij}^e$  – коэффициенты ДКП соответствующего блока изображения,  $T_c$  – матрица корректирующих множителей.

Метрика MSSIM [23] основана на определении меры подобия двух изображений для нескольких величин, таких, как контраст, яркость и структурность. При этом метрика является робастной к изменению разрешения изображений. Адекватность метрики обусловлена также и тем, что при измерении параметров изображение разбивается на локальные блоки и оценка параметров подобия производится в скользящем окне внутри блока.

Метрика визуального качества FSIM [24], основанная на вейвлетном преобразовании, учитывает особенности восприятия человека и уделяет особое

внимание окрестностям границ и малоразмерных деталей. Метрики MSSIM и FSIM могут принимать значения в пределах от 0 (наихудшее качество) до 1 (наилучшее качество).

Координаты максимума зависимостей метрик PSNR-HVS-M<sub>и-д</sub>, MSSIM<sub>и-д</sub>, FSIM<sub>и-д</sub> (минимума для метрики СКО<sub>и-д</sub>) от параметра, управляющего сжатием, называют оптимальной рабочей точкой (ОРТ). Она характеризуется  $K_{орт}$  или другими параметрами, управляющими качеством при сжатии с потерями, например,  $bpp_{орт}$  и шагом квантования ( $ШК_{орт}$ ).

### 3. Методика проведения исследования. Тестовые изображения и кодеры

Тестовые изображения выбраны таким образом, чтобы иметь разную сложность (наличие однородных участков, текстур, границ, резких переходов, мелких объектов). Набор тестовых изображений был искусственно зашумлен аддитивным шумом с дисперсиями  $\sigma_a^2 = 50$  и  $\sigma_a^2 = 100$ .

Рассмотрим два подхода к сжатию зашумленных изображений: 1) сжатие непосредственно зашумленных изображений; 2) сжатие предварительно отфильтрованных изображений. Во втором подходе предварительная фильтрация реализована с использованием фильтра на основе ДКП с перекрывающимися блоками 8x8 пикселей и жестким порогом, равным  $2,6\sigma$  [6].

На рис. 2 и 3 представлены зависимости для изображений Aerial и Peppers, сжатых кодером AGU [25] с ШК, изменяющимся от 1 до 50 с шагом 1. Данные изображения предварительно зашумлены аддитивным шумом с дисперсией  $\sigma_a^2 = 50$ . При этом сжимались как предварительно отфильтрованные изображения (filtr), так и непосредственно зашумленные (noise) изображения.

Значения метрики СКО<sub>и-д</sub> (рис. 2а, 3а, сплошная линия) для предварительно отфильтрованных изображений монотонно возрастают при увеличении ШК для всех изображений. При сжатии зашумленных изображений зависимости СКО<sub>и-д</sub> от ШК (см. примеры на рис. 2а, 3а, пунктирная линия) часто имеют немонотонный характер и для них может наблюдаться минимум (рис. 3а). Такое поведение объясняется частичным подавлением шума при сжатии с потерями. При этом наличие ОРТ наблюдается при выполнении условия  $ШК \approx 4\sigma$  для многих изображений и уровней помех. Для более сложных изображений (рис. 2а) ОРТ имеет менее выраженный характер, чем для более простых (см. зависимость на рис. 3а). При дальнейшем увеличении ШК ( $ШК > 4\sigma$ ) СКО<sub>и-д</sub> становится больше, чем СКО<sub>и-д</sub>.

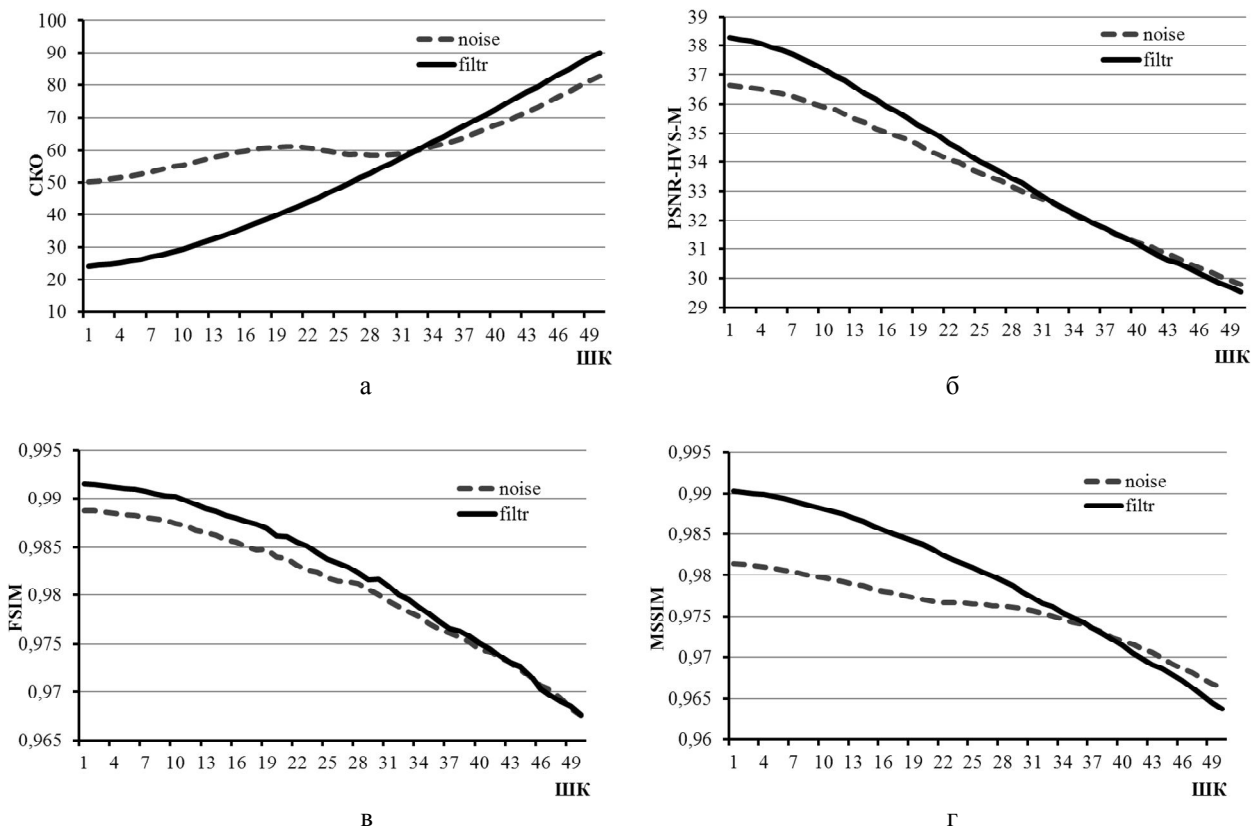


Рис. 2. Зависимости значений метрик от ШК для тестового изображения Aerial

При использовании современных метрик визуального качества (рис. 2 б-г, 3 б-г) ОПТ, как правило, выражена в меньшей степени, чем для  $SKO_{и-д}$ , но все же ОПТ обычно имеет место для более простых изображений, таких как Peppers (рис. 3 б-г). ОПТ по данным этих метрик лежит в пределах  $ШК=29...33$  и практически совпадает со значениями ШК, полученными для метрики  $SKO_{и-д}$ .

В случае сжатия более сложных изображений, например, Aerial, значения метрик PSNR-HVS-M и FSIM имеют монотонно убывающий характер. Для метрики MSSIM наблюдается небольшой локальный максимум в области  $ШК=24...31$ .

Исходя из данных на рис. 2 и 3 видно, что выполнение предварительной фильтрации целесообразно только в случае, если ШК не превышает  $(3...3,5)\sigma$ . Если же  $ШК \approx 4\sigma$ , то значение метрик сравнимы, т.е. декодированные изображения для обоих рассматриваемых подходов к сжатию (с предварительной фильтрацией и без нее) имеют практически одинаковое визуальное качество. В случае если  $ШК \geq 5\sigma$ , выполнять предварительную фильтрацию изображений с точки зрения визуального качества нецелесообразно.

Для проверки этих рекомендаций проведем моделирование для двух разных интенсивностей шума ( $\sigma_a^2 = 50$  и  $\sigma_a^2 = 100$ ), и большего количества изо-

бражений. В табл. 1-8 приведены значения ШК и КС в точке пересечения рассматриваемых зависимостей для различных метрик.

Для метрики SKO (табл. 1 и 5) в точке пересечения кривых noise и filtr значения  $SKO_{и-д}$  и  $SKO_{и-дф}$  меньше дисперсии шума (имеют порядок 31...32 при  $\sigma_a^2 = 50$  и 41...46 при  $\sigma_a^2 = 100$ ) для более простых изображений Peppers, Frisco, то есть наблюдается ОПТ. Однако значения  $SKO_{и-д}$  и  $SKO_{и-дф}$  могут и превышать дисперсию шума. Например, они имеют порядок 60...72 при  $\sigma_a^2 = 50$  и 92...107 при  $\sigma_a^2 = 100$  для более сложных изображений Aerial и Airfield.

Значения КС в этих точках при использовании предварительной фильтрации больше, чем без таковой. ШК в этом случае лежит в пределах  $ШК=29...33$  для  $\sigma_a^2 = 50$  и  $ШК=42...47$  для  $\sigma_a^2 = 100$ , что эквивалентно  $ШК=4,2...4,7\sigma$ .

Значения метрик PSNR-HVS-M-и-д и PSNR-HVS-M-и-дф (табл. 2 и 6) в точке пересечения кривых noise и filtr имеют небольшой разброс в 2 дБ для всех протестированных изображений и дисперсий шума. ШК в этом случае имеет порядок  $ШК=27...37$  для  $\sigma_a^2 = 50$  и  $ШК=39...49$  для  $\sigma_a^2 = 100$ , что эквивалентно  $ШК=3,9...5,2\sigma$ .

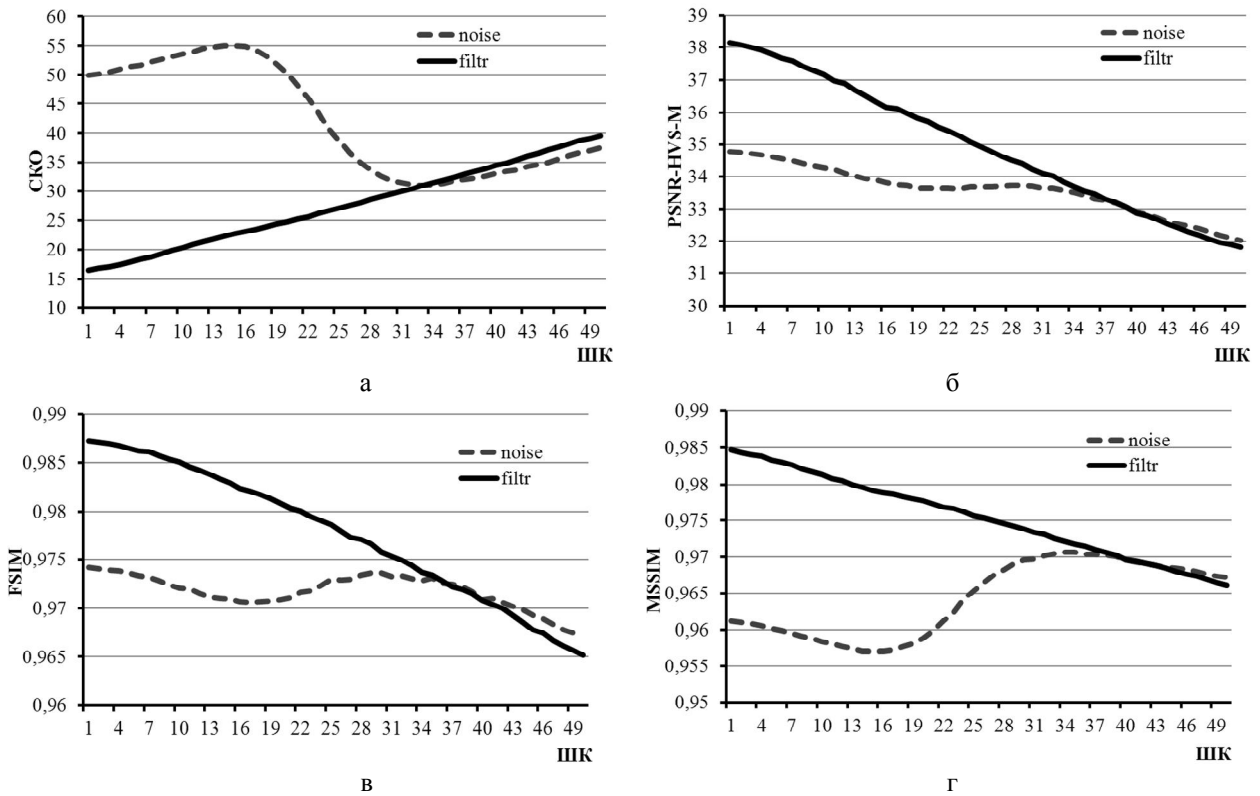


Рис. 3. Зависимость значений метрик от ШК для тестового изображения Peppers

Отличительной особенностью поведения метрик FSIM (табл. 3 и 7) и MSSIM (табл. 4 и 8) от рассмотренных выше результатов для других метрик, являются более низкие полученные значения этих метрик для простых тестовых изображений (Peppers FSIM=0,972 (0,962), Frisco FSIM=0,963 (0,943) при  $\sigma_a^2 = 50$  ( $\sigma_a^2 = 100$ )) в сравнении с более сложными тестовыми изображениями (Aerial FSIM=0,973 (0,963), Airfield FSIM=0,976 (0,962) при  $\sigma_a^2 = 50$  ( $\sigma_a^2 = 100$ )).

Значения ШК для метрики FSIM находятся в диапазоне 21...44 при  $\sigma_a^2 = 50$  (см. табл. 3) и 31...50

при  $\sigma_a^2 = 100$  (табл. 7), что эквивалентно ШК=3...6 $\sigma$ .

Для метрики MSSIM ШК в точках пересечения зависимостей принимает значения в диапазоне от 16 до 39 при  $\sigma_a^2 = 50$  (см. табл. 4) и от 30 до 58 при  $\sigma_a^2 = 100$  (см. табл. 8), то есть в пределах значений ШК от 2,3 $\sigma$  до 6 $\sigma$ .

Таблица 1

Значения ШК, КС и метрики качества в точке пересечения зависимостей при  $\sigma_a^2 = 50$

Изобр.		ШК	КС	CKO
Aerial	noise	32	7,51	59,40
	filtr		10,28	
Peppers	noise	33	17,60	31,06
	filtr		28,75	
Airfield	noise	29	5,96	71,50
	filtr		9,41	
Frisco	noise	31	16,19	31,30
	filtr		27,20	

Таблица 2

Значения ШК, КС и метрики качества в точке пересечения зависимостей при  $\sigma_a^2 = 50$

Изобр.		ШК	КС	PSNR-HVS-M
Aerial	noise	35	8,45	32,04
	filtr		11,15	
Peppers	noise	37	22,67	33,28
	filtr		31,81	
Airfield	noise	27	5,53	32,64
	filtr		8,79	
Frisco	noise	31	16,18	34,34
	filtr		27,20	

Таблица 3

Значения ШК, КС и метрики качества в точке пересечения зависимостей при  $\sigma_a^2 = 50$

Изобр.		ШК	КС	FSIM
Aerial	noise	44	11,06	0,973
	filtr		13,60	
Peppers	noise	37	22,69	0,972
	filtr		31,81	
Airfield	noise	27	5,53	0,976
	filtr		8,79	
Frisco	noise	21	6,96	0,963
	filtr		18,31	

Таблица 6

Значения ШК, КС и метрики качества в точке пересечения зависимостей при  $\sigma_a^2 = 100$

Изобр.		ШК	КС	PSNR-HVS-M
Aerial	noise	44	9,66	29,39
	filtr		14,67	
Peppers	noise	49	29,48	31,18
	filtr		42,73	
Airfield	noise	39	7,31	29,52
	filtr		13,68	
Frisco	noise	43	21,76	31,75
	filtr		42,68	

Таблица 4

Значения ШК, КС и метрики качества в точке пересечения зависимостей при  $\sigma_a^2 = 50$

Изобр.		ШК	КС	MSSIM
Aerial	noise	37	9,11	0,973
	filtr		11,74	
Peppers	noise	39	25	0,970
	filtr		33,28	
Airfield	noise	16	3,75	0,975
	filtr		5,47	
Frisco	noise	33	18,20	0,967
	filtr		29,06	

Таблица 7

Значения ШК, КС и метрики качества в точке пересечения зависимостей при  $\sigma_a^2 = 100$

Изобр.		ШК	КС	FSIM
Aerial	noise	49	11,49	0,963
	filtr		16,34	
Peppers	noise	50	30,61	0,962
	filtr		43,50	
Airfield	noise	38	7,05	0,962
	filtr		13,32	
Frisco	noise	31	8,62	0,943
	filtr		30	

Таблица 5

Значения ШК, КС и метрики качества в точке пересечения зависимостей при  $\sigma_a^2 = 100$

Изобр.		ШК	КС	СКО
Aerial	noise	43	9,31	91,40
	filtr		14,38	
Peppers	noise	47	26,88	41,10
	filtr		41,08	
Airfield	noise	42	8,22	106,70
	filtr		14,73	
Frisco	noise	43	21,67	45,60
	filtr		42,69	

Таблица 8

Значения ШК, КС и метрики качества в точке пересечения зависимостей при  $\sigma_a^2 = 100$

Изобр.		ШК	КС	MSSIM
Aerial	noise	45	10,04	0,961
	filtr		15,01	
Peppers	noise	58	38,92	0,960
	filtr		69,45	
Airfield	noise	30	5,41	0,952
	filtr		10,58	
Frisco	noise	45	24,48	0,953
	filtr		45,06	

При сжатии непосредственно зашумленных изображений (noise) уровень подавления помех, присутствующих на изображении, с увеличением ШК, увеличивается. В то же время при малых ШК подавление помех практически незаметно. При слишком больших ШК основная доля искажений, при сжатии с потерями, вносится в информационную составляющую. Следовательно, если установить параметр, управляющий сжатием, как  $ШК=4\sigma$ , то возможно сжать изображения с довольно высо-

ким визуальным качеством и частичной фильтрацией помех, с обеспечением возможности попадания в окрестность ОПТ при сжатии многих реальных изображений.

В случае сжатия предварительно отфильтрованных изображений (filtr) при малых значениях ШК обеспечивается хорошее визуальное качество, которое монотонно ухудшается с увеличением ШК. Сжатие с малыми значениями ШК приводит к малым КС, в то же время сжатие с ШК, превосходя-

щим  $2\sigma$ , приводит к заметному ухудшению визуального качества декодированных изображений. Иными словами, если желательно повысить качество изображения, которое позднее будет подвергнуто сжатию, путем фильтрации, то при сжатии целесообразно устанавливать ШК выше  $2\sigma$ .

В табл. 9 приведены данные, позволяющие всесторонне сравнить эффективность двух рассматриваемых подходов при условии соблюдения приведенных выше рекомендаций по выбору ШК. Как видно из анализа данных в табл. 9, проводить предварительную фильтрацию перед сжатием зашумленных изображений целесообразно для более простых изображений (например, Peppers, Frisco). Для них обеспечивается не только значительный выигрыш в визуальном качестве декодированных изо-

бражений (до двух раз по критерию СКО, порядка 3 дБ по критерию PSNR-HVS-M, до 0,02 в соответствии с метриками MSSIM и FSIM), но и немного лучшие значения КС по сравнению с применением сжатия без предварительной фильтрации. Такой выигрыш хорошо заметен визуально, что и продемонстрировано (при  $\sigma_a^2 = 100$ ) на рис. 4.

Выигрыш по качеству выходных изображений для процедуры сжатия предварительно отфильтрованных изображений (ШК= $2\sigma$ ) имеет место и для более сложных изображений. Однако при этом достигается немного меньший КС, чем при сжатии изображений без предварительной обработки (при ШК= $4\sigma$ ).

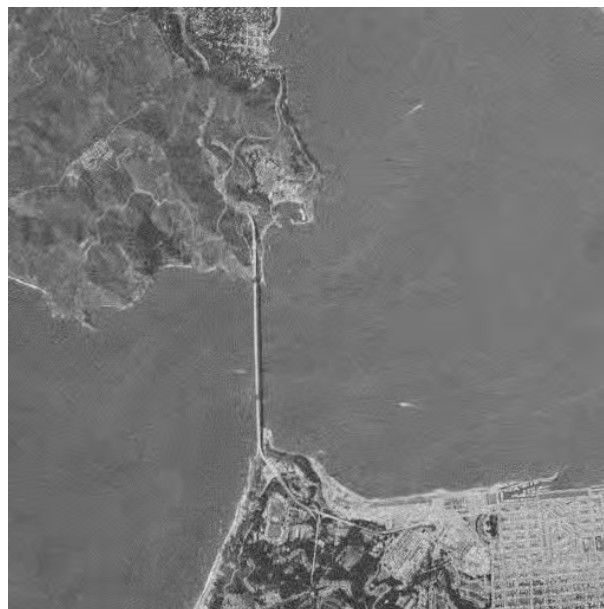
Таблица 9

Сравнение эффективности предлагаемых подходов

Изобр.	$\sigma_a^2$	Filtr (ШК= $2\sigma$ )					Noise (ШК= $4\sigma$ )				
		КС	СКО	PSNR-HVS-M	FSIM	MSSIM	КС	СКО	PSNR-HVS-M	FSIM	MSSIM
Aerial	50	5,32	33,50	36,35	0,988	0,986	<b>6,31</b>	58,38	33,17	0,981	0,976
	100	7,40	55,40	32,82	0,981	0,977	<b>8,23</b>	92,78	29,75	0,968	0,962
Peppers	50	<b>13,58</b>	22,34	36,51	0,983	0,979	11,05	33,74	33,72	0,973	0,968
	100	<b>19,52</b>	28,90	34,19	0,976	0,974	16,20	45,38	31,33	0,962	0,956
Airfield	50	4,90	46,55	35,14	0,983	0,976	<b>5,74</b>	71,51	32,49	0,975	0,968
	100	<b>7,35</b>	72,27	31,88	0,973	0,961	<b>7,60</b>	107,4	29,42	0,961	0,950
Frisco	50	<b>12,82</b>	20,20	37,00	0,971	0,977	<b>12,64</b>	32,39	34,42	0,967	0,964
	100	<b>19,39</b>	30,56	34,36	0,956	0,968	17,94	47,48	31,84	0,949	0,950



а



б

Рис. 4. Тестовое изображение Frisco сжатое с использованием: предварительной фильтрации (ШК= $2\sigma$ ) (а) и непосредственно сжатое зашумленное изображение (ШК= $4\sigma$ ) (б)

## Заключение

Проведен анализ эффектов фильтрации, наблюдаемых при сжатии с потерями изображений, искаженных аддитивными помехами. Рассмотрены два подхода к сжатию зашумленных изображений: с и без использования предварительной фильтрации. Показано, при каких условиях целесообразно использование предварительной фильтрации. Даны рекомендации по выбору параметров, управляющих сжатием при сжатии изображений, искаженных аддитивным шумом.

Работа выполнена при поддержке грантов Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) № 12-07-00762-а и 12-07-00388-а.

## Литература

1. Gonzalez, R. C. *Digital Image Processing [Text]* / R. C. Gonzalez, R. E. Woods. – Prentice-Hall, 2002. – 836 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. Bovik, A. *Handbook on Image and Video Processing [Text]* / A. Bovik. – USA, Academic Press, 2000. – 891 p.
4. 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.
5. Lukin, V. *Processing of Multichannel RS data for Environment Monitoring [Text]* / V. Lukin // *Proceedings of NATO Advanced Research Workshop on Geographical Information Processing and Visual Analytics for Environmental Security*. – Italy. – July 2009. – P. 129-138.
6. Efficiency analysis of color image filtering [Text] / D. Fevrale, V. Lukin, N. Ponomarenko, S. Abramov, K. Egiazarian, J. Astola // *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*. – 2011. – Vol. 2011(41). – 19 p.
7. Quasi-optimal compression of noisy optical and radar images [Text] / V. Lukin, N. Ponomarenko, M. Zriakhov, A. Zelensky etc. // *Proc. SPIE Conf. Image and Signal Processing for Remote Sensing XII*. – Sweden. – September 2006. – Vol. 6365. – 12 p.
8. Classification of Pre-filtered Multichannel Remote Sensing Images [Text] / V. Lukin, N. Ponomarenko, D. Fevrale, B. Vozel, K. Chehdi, A. Kurekin // *Remote Sensing – Advanced Techniques and Platforms*. – In-Tech, Austria. – 2012. – P. 75-98.
9. Lim, S. H. *Characterization of Noise in Digital Photographs for Image Processing [Text]* / S.H. Lim // *Proc. SPIE Conf. Proceedings of Digital Photography I*. – Sweden. – 10 Feb. 2006. – Vol. 6069. – P. 219-228.
10. Noise estimation from a single image [Text] / C. Liu, W. T. Freeman, R. Szeliski, S. B. Kang // *Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. – June 2006. – P. 901-908.
11. Al-Chaykh, O. K. *Lossy compression of noisy images [Text]* / O. K. Al-Chaykh, R. M. Mersereau // *IEEE Transactions on Image Processing*. – 1998. – Vol. 7 (12). – P. 1641-1652.
12. Chang, S. G. *Adaptive wavelet thresholding for image denoising and compression [Text]* / S. G. Chang, B. Yu, M. Vetterli // *IEEE Trans. on Image Processing*. – Vol. 9 (9). – Sep. 2000. – P. 1532-1546.
13. Lossy compression of images with additive noise [Text] / N. Ponomarenko, V. Lukin, M. Zriakhov, K. Egiazarian etc. // *Proceedings of International Conference on Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems*. – Antwerpen, Belgium. – Sept. 2005. – P. 381-386.
14. Estimation of accessible quality in noisy image compression [Электронный ресурс] / N. Ponomarenko, V. Lukin, M. Zriakhov, K. Egiazarian, J. Astola // *CD-ROM Proc. EUSIPCO*. – Italy. – 2006. – 4 p. – Режим доступа: <http://www.eurasip.org/Proceedings/Eusipco/Eusipco2006/papers/1568981766.pdf>. – 04.11.2013.
15. Lossy Compression of Noisy Images Based on Visual Quality: a Comprehensive Study [Электронный ресурс] / N. Ponomarenko, S. Krivenko, V. Lukin, K. Egiazarian, J. Astola // *Open access paper in: EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*. – 2010. – Article ID 976436. – 13 p. – Режим доступа: <http://asp.eurasipjournals.com/content/pdf/1687-6180-2010-976436.pdf>. – 04.11.2013.
16. Анализ эффективности методов сжатия РСА-изображений [Текст] / К. О. Егизарян, А. А. Зеленский, В. В. Лукин, Н. Н. Пономаренко // *Электромагнитные волны и электронные системы*. – Москва : Россия. – Вып. 7. – 2002. – С. 23-32.
17. Automatic approaches to on-land/on-board filtering and lossy compression of AVIRIS images [Text] / N. N. Ponomarenko, V. V. Lukin, M. S. Zriakhov, A. Kaarna, J. Astola // *Proceedings of IGARSS Conf*. – Vol. 3. – Boston, USA. – July 2008. – P. 254-257.
18. Hagag, A. *Simultaneous denoising and compression of multispectral images [Text]* / A. Hagag, M. Amin, F. E. Abd El-Samie // *SPIE Journal of Applied Remote Sensing*. – Vol. 7. – 2013. – P. 073511-1 – 073511-16.
19. Wu, H. R. *An Overview of Perceptual Processing for Digital Pictures [Text]* / H. R. Wu, W. Lin, L. Karam // *Proceedings of International Conference on Multimedia and Expo*. – 2012. – P. 113-120.



20. Земляченко, А. Н. Ускорение сжатия изображений с требуемым визуальным качеством [Текст] / А. Н. Земляченко, О. Е. Колганова, В. В. Лукин // Радиоэлектронные и компьютерные системы. – 2011. – Вып. 4(52). – С. 52-59.

21. Процедуры автоматического сжатия изображений ДЗ Земли при сигнально-зависимых помехах в окрестности оптимальной рабочей точки и их эффективность [Текст] / А. Н. Земляченко, Р. А. Кожемякин, С. К. Абрамов, В. В. Лукин, М. К. Чобану // Исследования Земли из космоса. – 2013. – Вып. 3. – С. 73-90.

22. 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.

23. 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.

24. FSIM: A Feature Similarity Index for Image Quality Assessment [Text] / Lin Zhang, Lei Zhang, X. Mou, D. Zhang // IEEE Transactions on Image Processing, – Aug. 2011. – Vol. 20 (8). – P. 2378-2386.

25. 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.

Поступила в редакцию 28.11.2013, рассмотрена на редколлегии 11.12.2013

**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.

### ПОПЕРЕДНЯ ФІЛЬТРАЦІЯ І СТИСНЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ, СПОТВОРЕНИХ АДИТИВНИМИ ЗАВАДАМИ

*О. М. Земляченко, О. О. Колганова, В. В. Лукин, М. К. Чобану*

Проаналізовано ефекти, що спостерігаються при стисненні з втратами зображень, які спотворено адитивними завадами. Показано, що використання попередньої фільтрації, а саме, на основі дискретного косинусного перетворення, дозволяє досягти придушення завад та дещо більшої візуальної якості стиснутих після фільтрації зображень, ніж тільки стиснення з втратами. Але цей ефект досягається тільки при певним чином вибраних параметрах метода стиснення. Сформульовано рекомендації по вибору параметрів кодерів, що застосовуються на етапі стиснення.

**Ключові слова:** стиснення зображень з втратами, фільтрація, адитивний шум.

### PRE-FILTERING AND IMAGE COMPRESSION CORRUPTED BY ADDITIVE NOISE

*A. N. Zemliachenko, E. O. Kolganova, V. V. Lukin, M. K. Tchobanou*

The effects of filtering and lossy compression for images corrupted by additive noise are analyzed. It is shown that the use of pre-filtering based on discrete cosine transform allows achieving noise reduction and higher visual quality of compressed pre-filtered images than with the lossy compression only. However, these effects appear only under conditions of certain choice of parameters chosen for the compression method. Appropriate recommendations concerning setting the coders' parameters are formulated.

**Keywords:** lossy image compression, filtering, additive noise

**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.

**Колганова Елена Олеговна** – канд. техн. наук, докторант каф. «Защиты информации», Национальный авиационный университет, Киев, Украина.

**Лукин 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.

**Чобану Михаил Константинович** – д-р техн. наук, проф., проф. каф. «Электрофизики информационных систем», Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт», г. Москва, Российская Федерация, e-mail: cmk2@orc.ru.