

УДК 621.3:681.34

С. К. АБРАМОВ<sup>1</sup>, М. А. СЕРГЕЕВА<sup>1</sup>, А. С. ПИНЧУК<sup>1</sup>, А. Н. ЗЕМЛЯЧЕНКО<sup>1</sup>,  
В. В. ЛУКИН<sup>1</sup>, Е. Ю. ГОЛУБ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> *Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

<sup>2</sup> *НПП ХАРТРОН-АРКОС ЛТД, Украина*

## ПРЕДСКАЗАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СЖАТИЯ В ОКРЕСТНОСТИ ОПТИМАЛЬНОЙ РАБОЧЕЙ ТОЧКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ШУМОМ КОДЕРОМ ADCT-M

*Для методов сжатия изображений на основе кодера ADCT-M разработаны процедуры предсказания двух основных параметров сжатия одноканальных изображений, на которых присутствуют некоррелированные аддитивные помехи в окрестности оптимальной рабочей точки. Предполагается, что дисперсия помех априорно известна или автоматически оценена с необходимой точностью. Рассмотрены возможные варианты входных параметров процедуры предсказания. В качестве выходных параметров используются изменение (улучшение или ухудшение) пикового отношения сигнал-шум и коэффициент сжатия. Существенное внимание уделено выбору аппроксимирующих функций, позволяющих рассчитать значение выходного (прогнозируемого) параметра по входному.*

**Ключевые слова:** сжатие с потерями, оптимальная рабочая точка, помехи, коэффициент сжатия.

### Введение

На многих современных аэрокосмических носителях установлены средства дистанционного зондирования (ДЗ), что позволяет с их помощью решать широкий спектр важных задач [1]. Однако при этом наблюдается тенденция к существенному возрастанию объемов получаемых данных, что обусловлено улучшением разрешающей способности, увеличением числа спектральных каналов, необходимостью более частого получения данных ДЗ для контролируемых территорий и другими факторами [1, 2]. Поэтому актуальной является задача применения эффективных методов сжатия изображений для их передачи в наземные пункты приема и обработки информации [2, 3], а затем передачи потенциальным потребителям или хранения.

Использование методов сжатия без потерь часто не позволяет удовлетворить предъявляемые требования. Это обусловлено весьма низкими достигаемыми значениями коэффициента сжатия (КС): даже для наилучших существующих методов архивации (сжатия без потерь) значения КС имеют порядок 2...4 для гиперспектральных изображений и еще меньше для других типов изображений [4]. Применение методов сжатия с потерями потенциально позволяет достичь заметно больших значений КС. Однако уровень вносимых искажений при этом должен быть приемлемым, чтобы не была безвозвратно утеряна полезная информация. Поэтому приходится принимать меры для достижения компромисса между уровнем вносимых искажений и КС.

Кроме указанных выше, есть и другие особенности сжатия изображений ДЗ. Одна из особенностей состоит в том, что на изображениях всегда присутствует шум, причем в зависимости от многих факторов уровень и тип помех может варьироваться в широких пределах [5–7]. Вторая особенность заключается в том, что необходимо обеспечить желаемые характеристики сжатия с приемлемыми вычислительными или аппаратными затратами, особенно если речь идет об обработке на борту носителя [2, 4].

Эти затраты зависят от ряда факторов. Основные из них – можно ли реализовать обеспечение желаемых характеристик сжатия с малым числом итераций (или вообще без итераций) и каковы затраты для используемого алгоритма сжатия. При этом необходимо учесть, что все операции при сжатии должны выполняться автоматически [8].

Большинство современных методов сжатия с потерями основываются на ортогональных преобразованиях, прежде всего, дискретном косинусном преобразовании (ДКП) и вейвлетных преобразованиях [9, 10]. Хороший компромисс между КС и критериями качества, как традиционными (например, пиковое отношение сигнал-шум – ПОСШ), так и визуального качества, обеспечивают кодеры на основе ДКП и схемы разбиения [11, 12]. Однако оптимизация схемы разбиения требует дополнительных вычислений, вследствие чего кодеры [11, 12] работают заметно медленнее, чем стандарты и более простые методы сжатия с потерями на основе ДКП. Поэтому для методов сжатия [11, 12] особенно акту-

ально сжатие данных без итераций и с предсказанием основных характеристик сжатия – степени улучшения/ухудшения качества изображения в результате сжатия и КС.

Говоря о возможном улучшении качества изображения при его сжатии (что может показаться парадоксальным), имеется ввиду, что при наличии помех на исходном изображении в результате его сжатия с потерями основная часть этих «потерь» может приходиться на специфическую фильтрацию помех [13–15]. В результате может наблюдаться так называемая оптимальная рабочая точка (ОРТ) [13–15], для которой сжатое изображение оказывается более близким к истинному (без шумов), чем исходное изображение (с шумами), в соответствии с выбранной метрикой. При этом часто удается одновременно достичь двух положительных эффектов: качество сжатого изображения может быть выше, чем качество исходного; КС может достигать значений 5...20, что часто приемлемо для практики.

### Постановка задачи исследования

Принципиальная возможность предсказания некоторых параметров сжатия в ОРТ для кодеров на основе ДКП показана в работах [16–18]. В [16, 18] показано, что КС можно предсказывать для кодеров AGU и ADCT; в [17] кратко рассмотрены возможности предсказания наличия ОРТ для четырех разных кодеров. В связи с этим **цель данной работы** – провести анализ возможностей и точности предсказания параметров сжатия в окрестности ОРТ для кодера ADCT-M.

### 1. Сжатие в окрестности оптимальной рабочей точки

Рассмотрим простейшую модель изображения, искаженного аддитивным гауссовым белым шумом:

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

где  $I_{ij}^{\text{true}}$  – истинное значение изображения в  $ij$ -м пикселе;

$I_{ij}^n$  – наблюдаемое (искаженное) значение изображения в  $ij$ -м пикселе;

$n_{ij}$  – шум в этом пикселе с нулевым средним и дисперсией  $\sigma_0^2$ , которая предполагается априорно известной или оцененной заранее с необходимой точностью [19].

Размер изображения –  $I_m \times J_m$  пикселей. На практике могут иметь место и другие, более сложные модели помех. Однако при известных характеристиках таковых можно применить вариационно-

стабилизирующие преобразования (ВСП) и добиться, чтобы шумы в изображении после ВСП стали аддитивными [20] с известной дисперсией  $\sigma_{\text{VST}}^2$ .

Отметим, что для разных методов сжатия КС варьируют разными способами. Если речь идет о методах сжатия на основе ДКП, то КС изменяют, варьируя шаг квантования (ШК) или масштабирующий множитель (ММ) [15]. Для многих кодеров на основе ДКП установлена зависимость между ОРТ и ШК или ММ. ОРТ (если она наблюдается) в соответствии с метриками СКОш (среднеквадратическая

ошибка  $\text{MSE}_{\text{tc}} = \sum_{i=1}^{I_m} \sum_{j=1}^{J_m} (I_{ij}^{\text{true}} - I_{ij}^c)^2 / I_m J_m$ ) или PSNR

(peak signal-to-noise ratio – пиковое отношение сигнал-шум ПОСШ  $\text{PSNR}_{\text{tc}} = 10 \lg [255^2 / \text{MSE}_{\text{tc}}]$ ), ко-

торые рассчитывают для пары изображений  $I_{ij}^{\text{true}}$  и

$I_{ij}^c$  ( $i=1, \dots, I_m; j=1, \dots, J_m$ ), имеет место при ШК, примерно равно  $\beta \sigma_0 = 4 \sigma_0$  [18], или ММ, примерно равно  $\beta \sigma_0 = 2 \sigma_0$  [15].

Подтвердим это примером. Графики зависимостей ПОСШ ( $\text{PSNR}_{\text{tc}}$ ), рассчитанных для изображений  $I_{ij}^{\text{true}}$  и  $I_{ij}^c$  ( $i=1, \dots, I_m; j=1, \dots, J_m$ ), от шага квантования  $QS = \beta \sigma_0$  для кодера ADCT и  $MM = \beta \sigma_0$  для кодера ADCT-M приведены на рис. 1 как функции коэффициента пропорциональности  $\beta$ . Отметим, что результаты (значение  $\text{PSNR}_{\text{tc}}$ ) в соответствующей ОРТ для ADCT-M несколько хуже, чем для ADCT. Аналогичные закономерности наблюдаются и для других тестовых изображений.

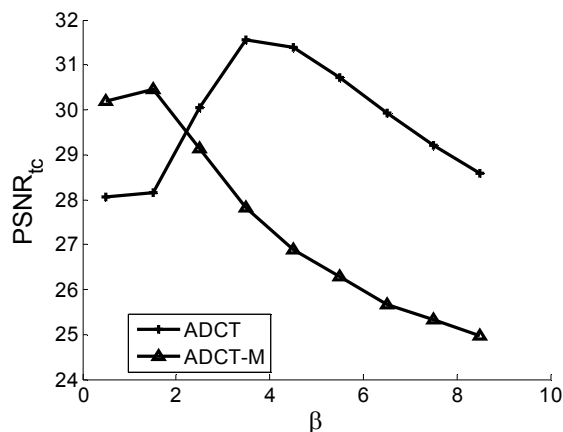


Рис. 1. Зависимости  $\text{PSNR}_{\text{tc}}$  от  $\beta$  для тестового изображения Барбара при дисперсии аддитивных помех, равной 100, сжатого кодерами ADCT и ADCT-M

ОРТ может наблюдаться и для метрик визуального качества. Пример показан на рис. 2 для метрики визуального качества  $\text{PSNR-HVS-M}$  [21]. Хорошо

видно, что ОПТ наблюдаются при фактически тех же значениях ШК и ММ, при этом практически нет разницы в значениях PSNR-HVS-M в окрестностях соответствующих ОПТ. Значения КС тоже практически совпадают (они примерно равны 13 для рассматриваемого примера). Таким образом, будем ниже рассматривать сжатие кодером ADCT-M с ММ, равным  $2\sigma_0$ .

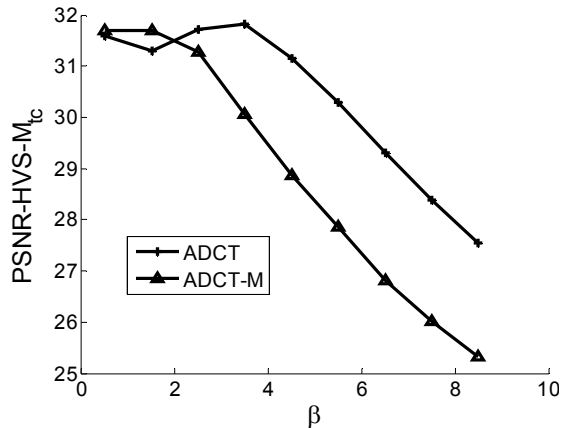


Рис. 2. Зависимости PSNR-HVS-M<sub>tc</sub> от  $\beta$  для тестового изображения Барбара при дисперсии аддитивных помех, равной 100, сжатого кодерами ADCT и ADCT-M

ОПТ наблюдается не для всех изображений и уровней помех. Значение PSNR<sub>tc</sub> при ММ, равном  $2\sigma_0$ , может быть меньше, чем для исходного изображения ( $PSNR_{tn} = 10 \lg \left[ \frac{255^2}{\sigma_0^2} \right]$ ). Поэтому будем анализировать  $\Delta PSNR = PSNR(MM=2\sigma_0) - PSNR_{tn}$ . Положительное значение  $\Delta PSNR$  говорит о том, что ОПТ существует, а  $\Delta PSNR < 0$  – о том, что ОПТ отсутствует. Кроме того, будем анализировать возможность предсказать и значения КС, достигаемые при сжатии в окрестности ОПТ.

## 2. Общий принцип предсказания параметров сжатия

Прежде всего, сформулируем требования к предсказанию параметров сжатия. Первое – хотелось бы, чтобы предсказание осуществлялось гораздо быстрее (на один-два порядка), чем само сжатие. Второе – предсказание должно быть достаточно точным. Например, среднеквадратическое отклонение (СКО) ошибки предсказания параметра  $\Delta PSNR$  не должно превосходить (0,4–0,6) дБ – в противном случае качество сжатых изображений начинает существенно отличаться. Относительные погрешности предсказания КС на практике не должны превышать (10–15) %.

Предлагаемый подход к прогнозированию основывается на использовании полученной заранее

аппроксимирующей кривой, которая, в свою очередь, получена путем ее вписывания в скаттерограмму. На рис. 3 показан пример для случая использования в качестве входного параметра  $P_{1\sigma}$  – вероятности того, что модульные значения ДКП-коэффициентов в блоках 8x8 пикселей не превышают значений частотно-зависимых порогов, пропорциональных СКО помех  $\sigma$ .

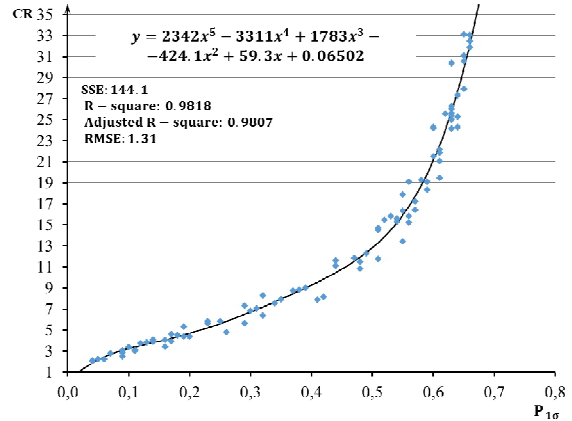


Рис. 3. Скаттерограмма зависимости КС от  $P_{1\sigma}$  и аппроксимирующая функция при ММ= $2\sigma$

Рассмотрим сначала более подробно получение скаттерограммы. Исходные предположения, являющиеся основой рассматриваемого метода прогнозирования, состоят в следующем. Первое – есть какой-то входной параметр, который быстро и легко рассчитывается для изображения, которое планируется сжимать, причем этот параметр способен совместно «характеризовать» уровень помех и степень сложности изображения. Второе – есть выходной параметр, значение которого прогнозируется на основе входного параметра, причем выходной параметр характеризует сжатие в ОПТ (или просто сжатие). Третье – выходной и входной параметры жестко связаны, что позволяет прогнозировать значение выходного параметра по значению входного с высокой точностью. С учетом сказанного, скаттерограмма, оси которой соответствуют входному и выходному параметрам, может помочь ответить на ряд важных вопросов. Точки скаттерограммы соответствуют исследованным в ходе получения скаттерограммы частным случаям – изображениям с шумом, сжатым в соответствии с рассматриваемой методикой (в данном случае в окрестности ОПТ), для каждого из которых определены контролируемые входной и выходной параметры. Например, для скаттерограммы на рис. 3 входной параметр – это вероятность  $P_{1\sigma}$ , а выходной параметр – КС.

О существовании жесткой зависимости между входным и выходным параметрами говорит тот факт, что точки скаттерограммы расположены компактно, указывая на явную монотонность зависимо-

сти (возрастание КС при увеличении  $P_{1\sigma}$ ). Этот факт также указывает на то, что при условии «хорошего» вписывания аналитической зависимости в скаттерграмму, прогнозирование будет весьма точным. Подробней этот вопрос будет рассмотрен ниже.

Что же касается простоты и скорости расчета входного параметра, то очевидно, что  $P_{1\sigma}$  – простой параметр, при расчете которого можно использовать быстрые алгоритмы или аппаратные средства выполнения ДКП в блоках  $8 \times 8$  пикселей. Значения частотно-зависимых порогов рассчитываются с помощью матрицы (табл. 1), все элементы которой умножаются на СКО помех  $\sigma$ .

Таблица 1

Матрица для расчета частотно-зависимых порогов

1,39	0,66	0,42	1,39	1,92	2,35	2,49	2,57
0,85	0,85	1,16	1,64	2,01	2,55	2,57	2,53
1,16	1,02	1,39	1,92	2,35	2,54	2,62	2,54
1,16	1,48	1,83	2,11	2,49	2,70	2,67	2,58
1,57	1,83	2,30	2,54	2,62	2,76	2,75	2,66
1,92	2,26	2,53	2,59	2,68	2,75	2,77	2,72
2,47	2,59	2,67	2,70	2,75	2,78	2,78	2,74
2,64	2,72	2,72	2,73	2,77	2,74	2,75	2,74

Более того, количество блоков, для которых необходимо выполнять такую обработку, относительно невелико. Как правило, достаточно анализировать 300–500 блоков, случайным образом разбросанных по изображению [16]. Операции сравнения модулей ДКП-коэффициентов с порогом и расчета итоговой вероятности также просты.

### 3. Анализ результатов для прогнозирования КС

Точность прогнозирования зависит от многих факторов. Прежде всего, это степень коррелированности выходного и входного параметров (заметим, что зависимость между ними, как правило, нелинейная, поэтому характеризовать зависимость обычным коэффициентом корреляции Пирсона неверно). В этом плане важен также вопрос о выборе оптимального или «хорошего» входного параметра – этому аспекту будет уделено особое внимание.

При использовании скаттерграммной методики определения зависимости точность прогнозирования также зависит от того, как сформирована скаттерграмма (достаточно ли в ней точек, насколько равномерно распределены их значения аргументов) и каким образом вписана аппроксимирующая кривая.

Будем считать, что скаттерграмма сформирована правильно. Тогда возникает вопрос о критериях качества вписывания и выборе типа и параметров функций, а также возможных ограничений. Вопрос

выбора критериев достаточно хорошо проработан [22], основными критериями являются  $R^2$ , который при хорошем вписывании и жесткой зависимости между выходным и входным параметрами должен стремиться к единице, и СКО (RMSE), которое должно быть как можно меньше. Значения этих параметров приведены на рис. 3–6.

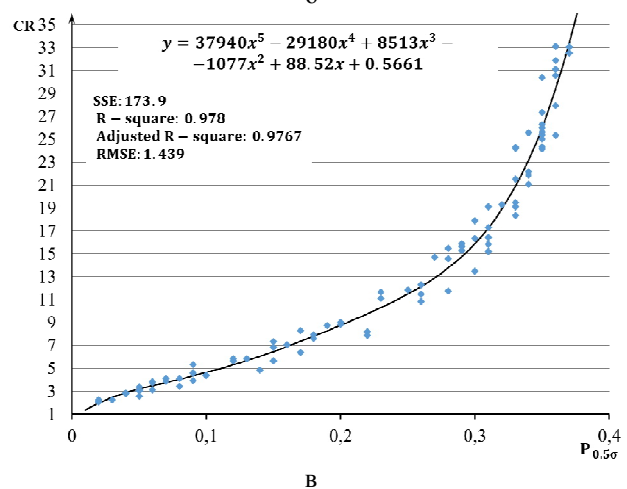
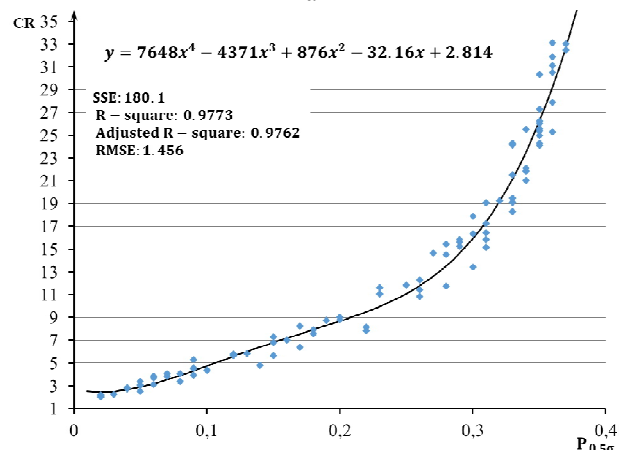
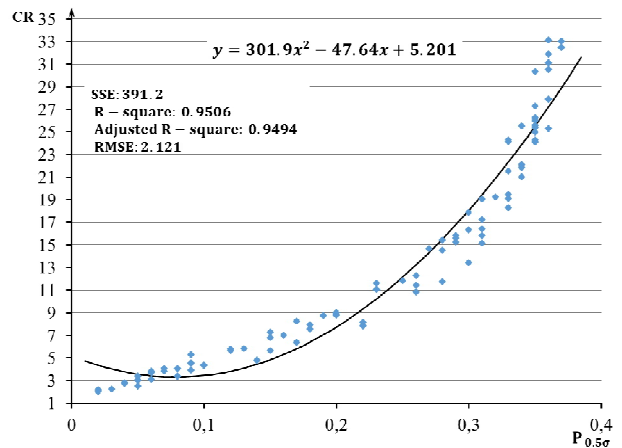


Рис. 4. Скаттерграммы зависимости КС (CR) от  $P_{0.5\sigma}$  и вписанные полиномы второго (а), четвертого (б) и пятого (в) порядков

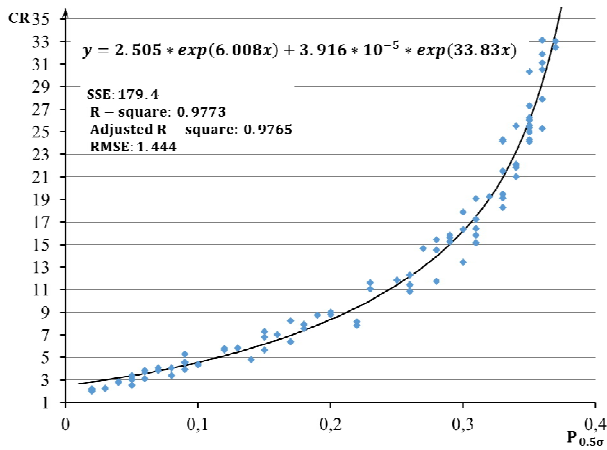
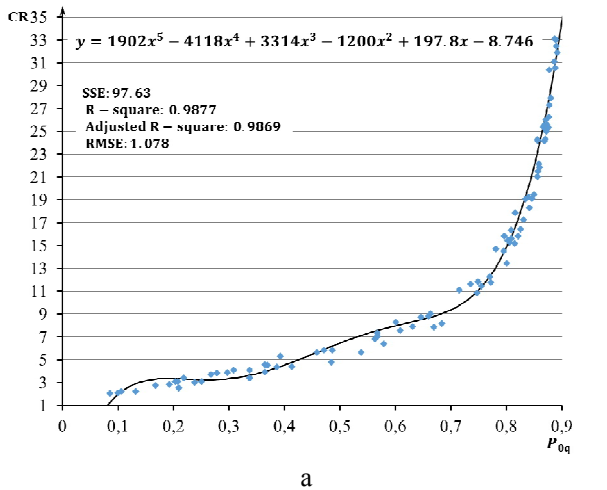
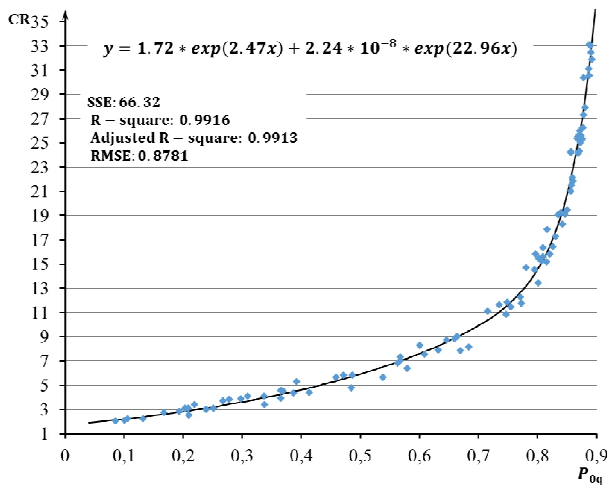


Рис. 5. Скаттерограмма зависимости КС (CR) от  $P_{0.5\sigma}$  и вписанная сумма двух взвешенных экспоненциальных функций



а



б

Рис. 6. Скаттерограммы зависимости КС (CR) от  $P_{0q}$  и вписанные полиномом порядка (а) и сумма двух экспоненциальных функций (б)

Как уже отмечалось, можно использовать разные входные параметры. Один из вариантов – при-

менять параметр  $P_{0q}$  – вероятность того, что значения ДКП-коэффициентов в анализируемых блоках 8x8 пикселей после квантования (с учетом матрицы квантования) окажутся равными 0. Очевидна взаимосвязь этого параметра с КС: чем большее число нулей будет в последовательности, которую затем надо будет сжимать без потерь, тем большим окажется КС [23].

Скаттерограмма и два варианта вписывания для этого входного параметра представлены на рис. 6. В данном случае хорошо видно, что значения  $R^2$  больше, а RMSE меньше, чем для любой из ранее рассмотренных аппроксимаций. Снова предпочтительно использовать аппроксимацию в виде суммы двух экспоненциальных функций, которая дает более высокую точность и удовлетворяет ограничениям.

Таким образом, точность предсказания, зависящая от точности вписывания, существенно зависит от входного параметра. Нами было проведено исследование точности аппроксимации для еще трех входных параметров –  $P_{1\sigma}$ ,  $P_{2\sigma}$  и  $P_{2.7\sigma}$ . Наилучшие результаты для них и двух ранее рассмотренных входных параметров представлены в табл. 2. Хорошо видно, что наиболее высокую точность обеспечивают  $P_{0q}$  и  $P_{2\sigma}$ .

Таблица 2

Лучшие результаты вписывания зависимости КС (CR) от входного параметра

Входной параметр	Аппроксимирующая функция	R-square	RMSE
$P_{0q}$	Экспоненциальный двучленный	0,992	0,8781
$P_{0.5\sigma}$	Полином 5-й степени	0,978	1,439
$P_{1\sigma}$	Полином 5-й степени	0,982	1,31
$P_{2\sigma}$	Экспоненциальный двучленный	0,990	0,9587
$P_{2.7\sigma}$	Экспоненциальный двучленный	0,987	1,08

Из анализа данных, приведенных в табл. 2, хорошо видно, что наиболее высокую точность обеспечивают  $P_{0q}$  и  $P_{2\sigma}$ .

#### 4. Анализ результатов прогнозирования ΔPSNR в окрестности ОПТ

Рассмотрим теперь возможности и точность предсказания ΔPSNR в ОПТ. На рис. 7 представлены скаттерограммы ΔPSNR от  $P_{0.5\sigma}$  и два варианта вписывания полиномов – второй и третьей степени.

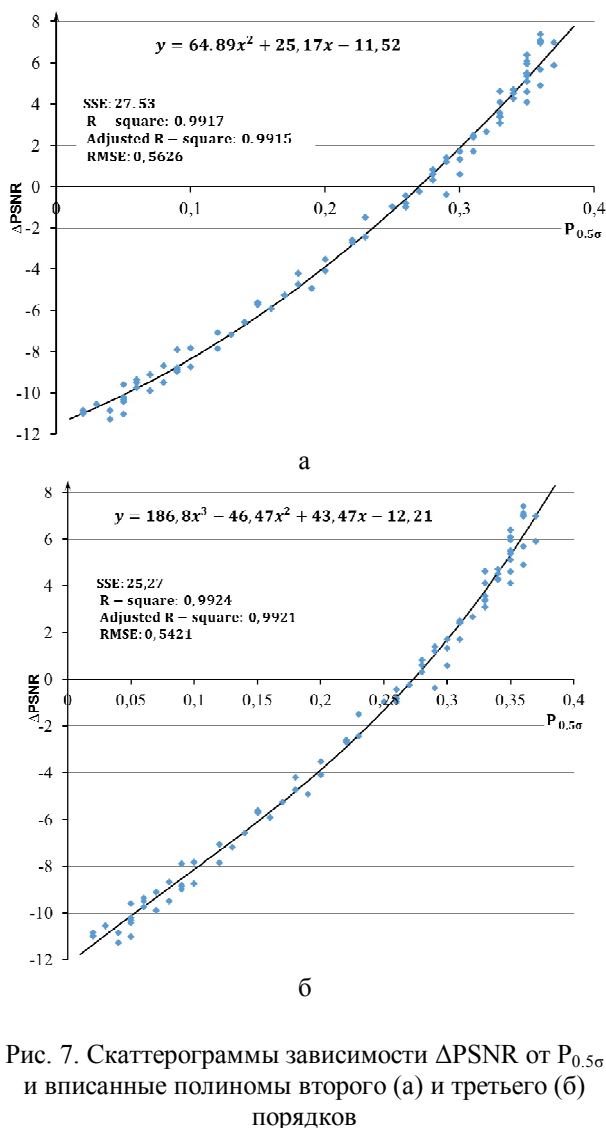


Рис. 7. Скаттерограммы зависимости  $\Delta\text{PSNR}$  от  $P_{0.5\sigma}$  и вписанные полиномы второго (а) и третьего (б) порядков

Хорошо видно, что в скаттерограмме есть как отрицательные значения  $\Delta\text{PSNR}$  (до -12 дБ, которые наблюдаются при низких уровнях помех, вследствие чего внесенные искажения практически незаметны), так и положительные значения (до почти 8 дБ, которые имеют место для изображений простой структуры при высоком уровне помех, для которых при сжатии в окрестности ОПТ хорошо заметен эффект фильтрации).

Входной параметр  $P_{0.5\sigma}$  может иметь значения от 0 до 0,38, причем, судя по скаттерограмме, зависимость  $\Delta\text{PSNR}$  от  $P_{0.5\sigma}$  является монотонно возрастающей. Как видно из рис. 7, использование полиномов даже второй и третьей степени обеспечивает высокое качество вписывания – значения  $R^2$  больше 0,99, а RMSE порядка 0,5 дБ, что достаточно для практики.

Проанализируем теперь результаты для другого входного параметра –  $P_{0q}$ . Некоторые из полученных вписанных кривых представлены на рис. 8. Параметр  $P_{0q}$  теоретически может иметь значения от 0

до 1 и, как видно из скаттерограмм, приведенных на рис. 8, для реальных изображений и уровней помех значения рассматриваемого параметра варьируются практически во всем диапазоне теоретически возможных значений.

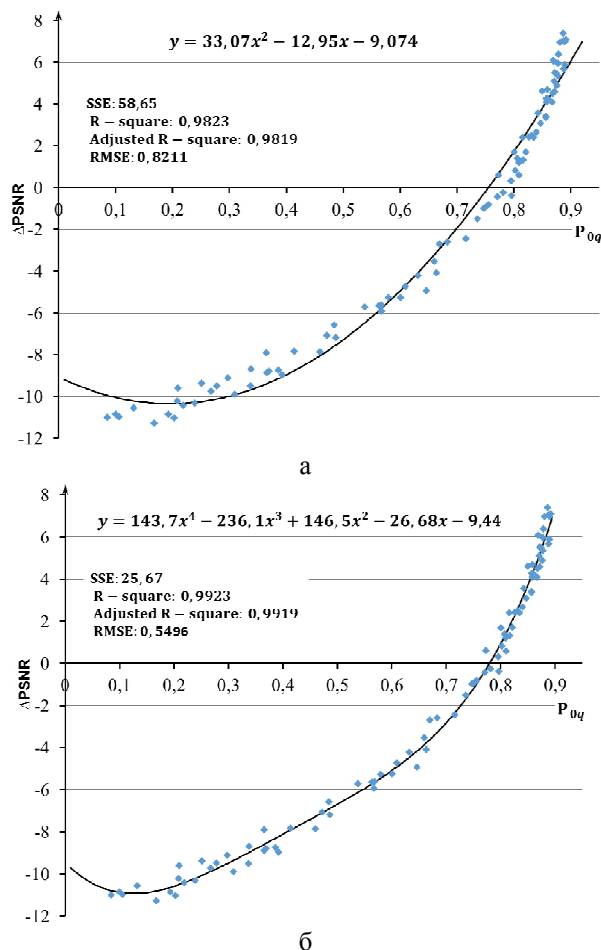


Рис. 8. Скаттерограммы зависимости  $\Delta\text{PSNR}$  от  $P_{0q}$  и вписанные полиномы второго (а) и четвертого (б) порядков

Как следует из визуального анализа скаттерограммы, зависимость  $\Delta\text{PSNR}$  от  $P_{0q}$  также является монотонно возрастающей. Сравнение результатов вписывания полиномов второй и третьей степени указывает на то, что полином второй степени не является монотонным и точность вписывания для него заметно ниже, чем при использовании полинома третьей степени. Формально полином третьей степени (рис. 8, б) также не является монотонным, но, на наш взгляд, он достаточно точно описывает анализируемую зависимость.

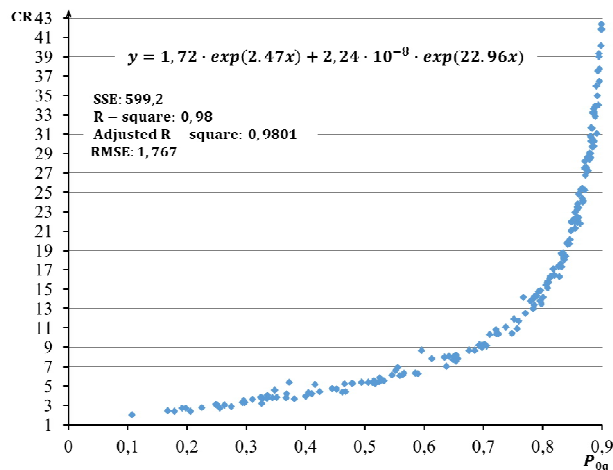
## 5. Анализ точности прогнозирования

Выше предполагалось, что RMSE вписывания кривой адекватно характеризует точность предсказания. Качество вписывания является важным, но не

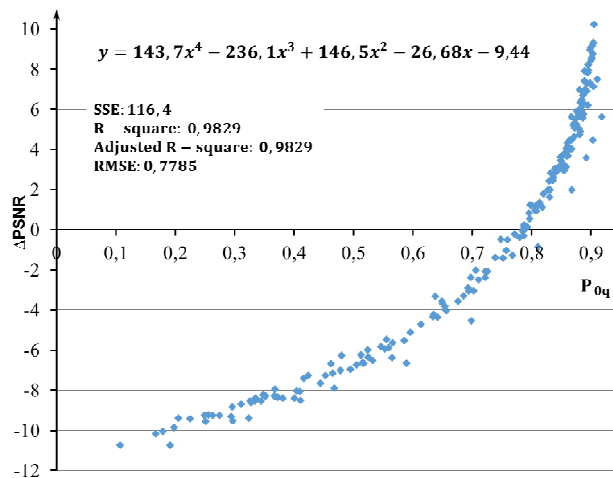
единственным фактором, влияющим на точность предсказания параметров сжатия на практике. Два других важных фактора таковы: 1) получение скаттерограммы и ее репрезентативность; 2) точность определения входного параметра.

Влияние точности определения входного параметра было рассмотрено ранее в [16], где было показано, что, как правило, достаточно обрабатывать 500 случайным образом распределенных по сжимаемому изображению блоков размером 8x8 пикселей. Поэтому остановимся ниже на влиянии методики получения скаттерограммы.

Для анализа были сформированы скаттерограммы зависимостей КС от  $P_{0q}$  и  $\Delta$ PSNR от  $P_{0q}$ , используя другой набор тестовых изображений (абсолютно отличный от набора, использованного при получении скаттерограмм на рис. 3–8). Ниже данные приведены для набора тестовых изображений Кодака. В результате наблюдались некоторые изменения в скаттерограммах: если на рис. 6 максимальные значения КС примерно равны 33, то для тестовых изображений Кодак они достигали 43 (рис. 9, а).



а



б

Рис. 9. Скаттерограммы КС от  $P_{0q}$  (а) и  $\Delta$ PSNR от  $P_{0q}$  (б) для другого тестового набора изображений

По значениям  $\Delta$ PSNR также есть небольшие отличия: максимальные значения достигают примерно 10 дБ (рис. 9, б). Для этих скаттерограмм были использованы ранее вписанные кривые и для них были рассчитаны значения параметров  $R^2$  и RMSE – в этом случае RMSE прямо характеризует точность предсказания. Для нового набора значения этих параметров оказались хуже ( $R^2$  меньше, а RMSE больше), чем для набора, использованного ранее. Однако отличия не столь существенны. Из полученных результатов следуют два вывода. Первый – при получении скаттерограмм необходимо использовать как можно большее число тестовых изображений (30...40 обычно достаточно при условии разнообразия их структуры и контента). Второй – полученные аппроксимации (выражения для предсказания) достаточно точны для практики.

## Выводы

Показано, что основные характеристики сжатия с потерями изображений, искаженных помехами, – КС и  $\Delta$ PSNR в оптимальной рабочей точке – могут быть достаточно точно предсказаны для кодека ADCT-M. Предсказание основывается на предварительном получении скаттерограмм и вписывании в них достаточно простых функций с 3...6 неизвестными параметрами. Само прогнозирование выполняется очень быстро и не требует сжатия и декомпрессии изображения или его части. Достаточно вычислить один из простых статистических параметров (вероятностей) для ДКП-коэффициентов ограниченного количества блоков 8x8 пикселей. Одним из наилучших параметров является  $P_{0q}$  – вероятность равенства нулю ДКП-коэффициентов в анализируемых блоках после квантования.

## Литература

1. Schowengerdt, R. *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing* [Text] / R. Schowengerdt. – Academic Press, 2006. – 560 p.
2. Yu, G. *Image Compression Systems on Board Satellites* [Text] / G. Yu, T. Vladimirova, M. N. Sweeting // *Acta Astronautica*. – 2009. – Т. 64, № 9–10. – P. 988–1005.
3. Christophe, E. *Hyperspectral Data Compression Tradeoff* [Text] / E. Christophe // *Optical Remote Sensing in Advances, Signal Processing and Exploitation Techniques* (Springer); eds. S. Prasad, L. M. Bruce, J. Chanussot. – 2011. – P. 9–29.
4. Blanes, I. *A tutorial on Image Compression on Optical Space Imaging Systems* [Text] / I. Blanes, E. Magli, J. Serra-Sagrisat // *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*. – 2014. – Т. 2, № 3. – P. 8–26.

5. Noise identification and estimation of its statistical parameters by using unsupervised variational classification [Text] / B. Vozel, K. Chehdi, L. Klaine, V. V. Lukin, S. K. Abramov // Proc. of ICASSP. – Toulouse, France, 2006. – T. 2. – P. 841–844.

6. Scatter-plot Based Estimation of Mixed Noise Parameters for Remote Sensing Image Processing [Text] / V. V. Abramova, S. K. Abramov, V. V. Lukin, B. Vozel, K. Chehdi // Proc. of the 5-th World Congress «Aviation in the XXI-st Century». – Kiev, Ukraine, 2012. – T. 2. – P. 3.7.56–3.7.60.

7. Image Informative Maps for Component-wise Estimating Parameters of Signal-Dependent Noise [Text] / M. L. Uss, B. Vozel, V. Lukin, K. Chehdi // Journal of Electronic Imaging. – 2013. – T. 22, № 1. – doi :10.1117/1.JEI.22.1.013019.

8. Methods and automatic procedures for processing images based on blind evaluation of noise type and characteristics [Text] / V. Lukin, S. Abramov, N. Ponomarenko, M. Uss, M. Zriakhov, B. Vozel, K. Chehdi, J. Astola // SPIE Journal on Advances in Remote Sensing. – 2011. – T. 5, № 1. – 27 p. – doi : 10.1117/1.3539768.

9. Taubman, D. JPEG2000: Image Compression Fundamentals, Standards, and Practice [Text] / D. Taubman, M. Marcellin. – USA : Kluwer, 2001. – 777 p.

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

11. ADCT: A new high quality DCT based coder for lossy image compression [Text] / N. Ponomarenko, V. Lukin, K. Egiazarian, J. Astola // Proc. of LNLA, August 2008. – Switzerland, 2008. – 6 p.

12. Visual Quality of Lossy Compressed Images [Text] / N. Ponomarenko, S. Krivenko, V. Lukin, K. Egiazarian // Proc. of CADSM2009, February 2009. – Svalyava, 2009. – P. 137–142.

13. Lossy compression of images with additive noise [Text] / N. Ponomarenko, V. Lukin, M. Zriakhov, K. Egiazarian [et al.] // Proc. of International Conference on Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems. – Antwerpen, Belgium, 2005. – P. 381–386.

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

15. Lossy Compression of Noisy Images Based on Visual Quality: A Comprehensive Study [Text] / N. Ponomarenko, S. Krivenko, V. Lukin, K. Egiazarian // EURASIP Journal on Advances in Signal Processing. – 2010. – 13 p. – doi : 10.1155/2010/976436.

16. Compression Ratio Prediction in Lossy Compression of Noisy Images [Text] / A. N. Zemliachenko,

S. Abramov, V. V. Lukin, B. Vozel, K. Chehdi // Proc. of IGARSS. – Milan, Italy, 2015. – P. 3497–3500.

17. Lossy compression of noisy remote sensing images with prediction of optimal operation point existence and parameters [Text] / A. Zemliachenko, S. Abramov, V. Lukin, B. Vozel, K. Chehdi // SPIE Journal on Applied Remote Sensing. – 2015. – T. 9, № 1. – P. 095066-1–095066-26.

18. Prediction of Compression Ratio in Lossy Compression of Noisy Images [Text] / A. Zemliachenko, R. Kozhemiakin, B. Vozel, V. Lukin // Proc. of TCSET 2016, February 2016. – Lviv-Slavske, Ukraine, 2016. – P. 693–697.

19. Абрамова, В. В. Многоэтапный автоматический метод оценивания дисперсии аддитивного шума с использованием детектора однородных участков на основе момента четвертого порядка [Текст] / В. В. Абрамова, С. К. Абрамов, В. В. Лукин // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2013. – № 4. – С. 15–24.

20. Lossy Compression of Hyperspectral Images Based on Noise Parameters Estimation and Variance Stabilizing Transform [Text] / A. N. Zemliachenko, R. A. Kozhemiakin, M. L. Uss, S. K. Abramov, N. N. Ponomarenko, V. V. Lukin, B. Vozel, K. Chehdi // SPIE Journal of Applied Remote Sensing. – 2014. – T. 8, № 1. – doi : 10.1117/1.JRS.8.083571.

21. On between-coefficient contrast masking of DCT basis functions [Text] / N. N. Ponomarenko, F. Silvestri, K. Egiazarian, M. Carli, J. T. Astola, V. V. Lukin // Proc. of VPQM. – USA, 2007. – 4 p.

22. An R-squared measure of goodness of fit for some common nonlinear regression models [Text] / C. Cameron, A. Windmeijer, A. G. Frank, H. Gramajo, D. E. Cane, C. Khosla // Journal of Econometrics. – 1997. – T. 77. – № 2. – P. 329–342.

23. He, Z. Optimum bit allocation and accurate rate control for video coding via  $p$ -domain source modelling [Text] / Z. He, S. K. Mitra // IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology. – 2002. – № 12(10). – P. 840–849.

## References

1. Schowengerdt, R. Remote Sensing : Models and Methods for Image Processing. Academic Press Publ., 2006. 560 p.

2. Yu, G., Vladimirova, T., Sweeting, M. N. Image Compression Systems on Board Satellites. Acta Astronautica, 2009, vol. 64, no. 9–10, pp. 988–1005.

3. Christophe, E., eds. Prasad, S. Bruce, L. M., Chanussot, J. Hyperspectral Data Compression Trade-off. Optical Remote Sensing in Advances, Signal Processing and Exploitation Techniques (Springer), 2011, pp. 9–29.

4. Blanes, I., Magli, E., Serra-Sagrisat, J. A tutorial on Image Compression on Optical Space Imaging Systems. IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine, 2014, vol. 2, no. 3, pp. 8–26.

5. Vozel, B., Chehdi, K., Klaine, L., Lukin, V. V.,



Abramov, S. K. Noise identification and estimation of its statistical parameters by using unsupervised variational classification. *Proc. of ICASSP*, Toulouse, France, 2006, vol. 2, pp. 841–844.

6. Abramova, V. V., Abramov, S. K., Lukin, V. V., Vozel, B., Chehdi, K. Scatter-plot Based Estimation of Mixed Noise Parameters for Remote Sensing Image Processing. *Proc. of the 5-th World Congress «Aviation in the XXI-st Century»*, Kiev, Ukraine, 2012, vol. 2, pp. 3.7.56–3.7.60.

7. Uss, M. L., Vozel, B., Lukin, V., Chehdi, K. Image Informative Maps for Component-wise Estimating Parameters of Signal-Dependent Noise. *Journal of Electronic Imaging*, 2013, vol. 22, no. 1. doi: 10.1117/1.JEI.22.1.013019.

8. Lukin, V., Abramov, S., Ponomarenko, N., Uss, M., Zriakhov, M., Vozel, B., Chehdi, K., Astola, J. Methods and automatic procedures for processing images based on blind evaluation of noise type and characteristics. *SPIE Journal on Advances in Remote Sensing*, 2011, vol. 5, no. 1, 27 p. doi: 10.1117/1.3539768.

9. Taubman, D., Marcellin, M. *JPEG2000: Image Compression Fundamentals, Standards, and Practice*. USA, Kluwer Publ., 2001. 777 p.

10. Ponomarenko, N. N., Lukin, V. V., Egiazarian, K., Astola, J. DCT Based High Quality Image Compression. *Proc. of 14th Scandinavian Conference on Image Analysis*, June 2005, Finland, 2005, pp. 1177–1185.

11. Ponomarenko, N., Lukin, V., Egiazarian, K., Astola, J. ADCT: A new high quality DCT based coder for lossy image compression. *Proc. of LNLA*, August 2008, Switzerland, 2008, 6 p.

12. Ponomarenko, N., Krivenko, S., Lukin, V., Egiazarian, K. Visual Quality of Lossy Compressed Images. *Proc. of CADSM2009*, February 2009, Svalyava, 2009, pp. 137–142.

13. Ponomarenko, N., Lukin, V., Zriakhov, M., Egiazarian, K. et al. Lossy compression of images with additive noise. *Proc. of International Conference on Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems*, Antwerpen, Belgium, 2005, pp. 381–386.

14. Zemljachenko, A. N., Kozhemjakin, R. A., Abramov, S. K., Lukin, V. V. Automatic image compression in the neighborhood of optimal operation point based on model of human vision system for signal-dependent noise. *Aviacionno-kosmicheskaja tehnika i tehnologija*, 2012, no. 6/93, pp. 99–108. (In Russian).

15. Ponomarenko, N., Krivenko, S., Lukin, V., Egiazarian, K. Lossy Compression of Noisy Images Based on Visual Quality: A Comprehensive Study. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2010, 13 p., doi:10.1155/2010/976436.

16. Zemliachenko, A. N., Abramov, S., Lukin, V. V., Vozel, B., Chehdi, K. Compression Ratio Prediction in Lossy Compression of Noisy Images. *Proc. of IGARSS*, Milan, Italy, 2015, pp. 3497–3500.

17. Zemliachenko, A., Abramov, S., Lukin, V., Vozel, B., Chehdi, K. Lossy compression of noisy remote sensing images with prediction of optimal operation point existence and parameters. *SPIE Journal on Applied Remote Sensing*, 2015, vol. 9, no. 1, pp. 095066-1–095066-26.

18. Zemliachenko, A., Kozhemiakin, R., Vozel, B., Lukin, V. Prediction of Compression Ratio in Lossy Compression of Noisy Images. *Proc. of TCSET 2016*, February 2016, Lviv-Slavske, Ukraine, 2016, pp. 693–697.

19. Abramova, V. V., Abramov, S. K., Lukin, V. V. Multi-stage method for blind additive noise variance evaluation using homogeneous region detector based on fourth order moment. *Radioelektronni i kompyuterni systemy*, 2013, no. 4, pp. 15–24. (In Ukrainian).

20. Zemliachenko, A. N., Kozhemiakin, R. A., Uss, M. L., Abramov, S. K., Ponomarenko, N. N., Lukin, V. V., Vozel, B., Chehdi, K. Lossy Compression of Hyperspectral Images Based on Noise Parameters Estimation and Variance Stabilizing Transform. *SPIE Journal of Applied Remote Sensing*, 2014, vol. 8, no. 1. doi: 10.1117/1.JRS.8.083571.

21. Ponomarenko, N. N., Silvestri, F., Egiazarian, K., Carli, M., Astola, J. T., Lukin, V. V. On between-coefficient contrast masking of DCT basis functions. *Proc. of VPQM*, USA, 2007, 4 p.

22. Cameron, C., Windmeijer, A., Frank, A. G., Gramajo, H., Cane, D. E., Khosla, C. An R-squared measure of goodness of fit for some common nonlinear regression models. *Journal of Econometrics*, 1997, vol. 77, no. 2, pp. 329–342.

23. He, Z., Mitra, S. K. Optimum bit allocation and accurate rate control for video coding via  $p$ -domain source modeling. *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, 2002, no. 12(10), pp. 840–849.

Поступила в редакцію 12.04.2016, рассмотрена на редколегіи 14.06.2016

## ПРОГНОЗУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СТИСНЕННЯ В ОКОЛІ ОПТИМАЛЬНОЇ РОБОЧОЇ ТОЧКИ ЗОБРАЖЕНЬ З ШУМОМ КОДЕРОМ АДСТ-М

С. К. Абрамов, А. С. Пінчук, М. О. Сергєєва, О. М. Земляченко, В. В. Лукін, К. Ю. Голуб

Для методів стиснення зображень на основі кодера АДСТ-М розроблено процедури прогнозування двох основних параметрів стиснення одноканальних зображень, на яких присутні некорельовані адитивні шуми, в околі оптимальної робочої точки. Вважається, що дисперсія шуму апріорно відома або автоматично оцінена з необхідною точністю. Розглянуто можливі варіанти вхідних параметрів процедури прогнозування. В якості вихідних параметрів використовується зміна (поліпшення або погіршення) пікового відношення

сигнал-шум і коефіцієнт стиснення. Істотну увагу приділено вибору апроксимуючих функцій, що дозволяють розрахувати значення вихідного (прогнозованого) параметра по вхідному.

**Ключові слова:** стиснення з втратами, оптимальна робоча точка, шум.

### PREDICTION OF COMPRESSION PARAMETERS IN OPTIMAL OPERATION POINT NEIGHBORHOOD FOR NOISY IMAGES BY ADCT-M CODER

*S. K. Abramov, A. S. Pinchuk, M. A. Sergeeva, A. N. Zemliachenko, V. V. Lukin, K. Yu. Holub*

For methods of image compression based on ADCT-M coder, procedures for prediction of main parameters of lossy compression of single-channel images corrupted by uncorrelated additive noise in the neighborhood of optimal operation point are designed. It is assumed that noise variance is a priori known or is pre-estimated with required accuracy. Possible variants of input parameters for prediction procedures are considered. As output parameters, change (increase or decrease) of peak signal-to-noise ratio and compression ratio are used. Special attention is paid to selection of approximating functions that allow determining output (predicted) parameter using input one.

**Key words:** lossy compression, optimal operation point, noise, compression ratio.

**Абрамов Сергей Клавдиевич** – канд. техн. наук, доцент, докторант каф. «Приема, передачи и обработки сигналов», Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», г. Харьков, Украина, e-mail: ask379@mail.ru.

**Сергеева Мария Александровна** – студент каф. «Приема, передачи и обработки сигналов», Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», г. Харьков, Украина, e-mail: megamozg90@gmail.com.

**Пинчук Анастасия Сергеевна** – студент каф. «Приема, передачи и обработки сигналов», Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», г. Харьков, Украина, e-mail: qa.pinchuk@gmail.com.

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

**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.

**Голуб Екатерина Юрьевна** – аспирант каф. «Авиационные приборы и измерения», Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт»; инженер 2 кат. отдела 13060 НПП ХАРТРОН-АРКОС ЛТД, г. Харьков, Украина, e-mail: holub.kateryna@gmail.com.

**Abramov Sergej Klavdievich** – Candidate of Technical Science, Assistant Professor, Post doctorate student of Dept. of Transmitters, Receivers and Signal Processing, National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovsky “KhAI”, Kharkov, Ukraine, e-mail: ask379@mail.ru.

**Sergeeva Mariya Aleksandrovna** – student of Dept. of Transmitters, Receivers and Signal Processing, National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovsky “KhAI”, Kharkov, Ukraine, e-mail: megamozg90@gmail.com.

**Pinchuk Anastasiya Sergeevna** – student of Dept. of Transmitters, Receivers and Signal Processing, National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovsky “KhAI”, Kharkov, Ukraine, e-mail: qa.pinchuk@gmail.com.

**Zemliachenko Aleksandr Nikolaevich** – Candidate of Technical Science, senior lecturer of Dept. of Transmitters, Receivers and Signal Processing, National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovsky “KhAI”, Kharkov, Ukraine, e-mail: hagriel@ukr.net.

**Lukin Vladimir Vasil'evich** – Doctor of Technical Science, Professor, Professor of Dept. of Transmitters, Receivers and Signal Processing, National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovsky “KhAI”, Kharkov, Ukraine, e-mail: lukin@ai.kharkov.com.

**Holub Kateryna Yuriivna** – PhD student of Dept. of Aviation Devices and Measurements, National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovsky “KhAI”; engineer (2 category) of 13060 Department in LTD RPI HARTRON-ARKOS, Kharkov, Ukraine, e-mail: holub.kateryna@gmail.com.