

# ПОВЫШЕНИЕ СТЕПЕНИ СЖАТИЯ И ВИЗУАЛЬНОГО КАЧЕСТВА ПРИ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ КОМПРЕССИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЗА СЧЕТ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

М.В. Гашиков, Н.И. Глумов  
Институт систем обработки изображений

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва

## Аннотация

В данной работе предложен алгоритм повышения степени сжатия и визуального качества при иерархической компрессии. Алгоритм основан на использовании предварительной фильтрации, приводящей изображение к виду, более «приспособленному» для иерархического сжатия. Проведено экспериментальное исследование разработанного алгоритма, показано преимущество схемы с предфильтрацией над базовым методом по коэффициенту сжатия и по визуальному качеству.

## Введение

Иерархическая компрессия изображений [1-4] основана на использовании прореженных копий изображения для интерполяции промежуточных отсчетов и последующем энтропийном кодировании [5] ошибок интерполяции (постинтерполяционных остатков). В данной работе в качестве иерархического метода сжатия рассматривается метод иерархической сеточной интерполяции (ИСИ) [3-4]. Метод обладает чрезвычайно низкой вычислительной сложностью, высоким коэффициентом сжатия, позволяет контролировать погрешность и обладает многими другими достоинствами, характерными для иерархических методов компрессии.

Одним из недостатков метода ИСИ является недостаточная эффективность и снижение визуального качества декомпрессированных изображений при больших коэффициентах сжатия, обусловленное использованием равномерной шкалы квантования [5] для постинтерполяционных остатков. В данной работе предлагается способ уменьшения этих эффектов за счет предварительной фильтрации изображения.

## Иерархическая компрессия изображений

Иерархическая компрессия основана на специальном представлении изображения. Пусть  $\mathbf{X} = \{x(m, n)\}$  – исходное изображение. Представим изображения  $\mathbf{X}$  в виде объединения иерархических (масштабных) уровней  $\mathbf{X}_l$ :

$$\mathbf{X} = \bigcup_{l=0}^{L-1} \mathbf{X}_l,$$

$$\mathbf{X}_{L-1} = \{x_{L-1}(m, n)\},$$

$$\mathbf{X}_l = \{x_l(m, n)\} \setminus \{x_{l+1}(m, n)\}, \quad l \in [0..L-2],$$

где  $L$  – количество уровней,

$\{x_l(m, n)\}$  – массив отсчетов изображения, взятых с шагом  $2^l$  по каждой координате.

При компрессии уровни обрабатываются последовательно, начиная со старшего уровня  $\mathbf{X}_{L-1}$ . Старший уровень сжимается только статистическим кодером. Процедура компрессии любого из следую-

щих младших уровней  $\mathbf{X}_l, l \in [0, L-2]$  включает следующие этапы (см. также рис. 1):



Рис. 1. Иерархическая компрессия

### 1) Интерполяция

Производится интерполяция отсчетов  $\{x_l(m, n)\}$  уровня  $\mathbf{X}_l$  на основе отсчетов  $\{\bar{x}_k(m, n), k > l\}$  уровней  $\{\bar{\mathbf{X}}_k, k > l\}$ , уже прошедших компрессию и восстановление. В результате вычисляются интерполирующие значения отсчетов уровня  $\hat{x}_l(m, n)$ . В данной работе интерполяция осуществляется простым усреднением по ближайшим уже обработанным отсчетам более старшего уровня [4].

### 2) Вычисление постинтерполяционных остатков

Вычисляется разностный сигнал (массив «постинтерполяционных остатков»), т.е. массив разностей истинных и интерполирующих значений:

$$f_l(m, n) = x_l(m, n) - \hat{x}_l(m, n).$$

### 3) Квантование постинтерполяционных остатков

Выполняется квантование постинтерполяционных остатков. В данной работе используется квантователь [5] с контролем максимальной погрешности  $\varepsilon_{\max}$

$$q_l(m, n) = \text{sign}(f_l(m, n)) \left[ \frac{|f_l(m, n)| + \varepsilon_{\max}}{2\varepsilon_{\max} + 1} \right],$$

где  $[..]$  обозначает выделение целой части.

Этот квантователь гарантирует, что декомпрессированное изображение будет отличаться от исходного не более, чем на  $\varepsilon_{\max}$

$$\max_{(m,n)} |x(m,n) - \bar{x}(m,n)| \leq \varepsilon_{\max},$$

#### 4) Вычисление восстановленных значений отсчетов

По квантованным значениям постинтерполяционных остатков вычисляются восстановленные значения  $\bar{x}_l(m,n)$  отсчетов уровня. Очевидно, что для этого необходимо сначала вычислить восстановленные значения постинтерполяционных остатков:

$$\bar{f}_l(m,n) = q_l(m,n)(2\varepsilon_{\max} + 1),$$

а затем осуществить собственно восстановление:

$$\bar{x}_l(m,n) = \bar{f}_l(m,n) + \hat{x}_l(m,n).$$

Эти восстановленные отсчеты будут нужны для интерполяции более младших иерархических уровней  $\{\mathbf{X}_k, k < l\}$ .

#### 5) Статистическое кодирование

Осуществляется статистическое кодирование квантованных постинтерполяционных остатков. Поскольку распределение их вероятностей, как правило, является существенно неравномерным, в результате кодирования можно достичь значительного сокращения объема данных. На этом описание процедуры компрессии иерархического уровня закончено.

Таким образом, для каждого уровня формируется своя последовательность квантованных значений, которая отдельно сжимается статистическим кодером.

#### Предварительная фильтрация

Под предварительной фильтрацией в задаче компрессии будем понимать фильтрацию исходного изображения, которая производится до собственно компрессии (см. схему на рис. 2). Такая фильтрация, естественно, вносит погрешность, но, при правильном выборе фильтра, фильтрованное изображение может стать более «удобным» для данного метода сжатия, за счет чего схема обработки с предфильтром в результате может оказаться более эффективной (в координатах «коэффициент сжатия – погрешность восстановления»).

Как уже было отмечено выше, предфильтрация в данной работе применяется для борьбы со снижением качества декомпрессированных изображений при больших коэффициентах сжатия. Снижение качества в свою очередь обусловлено использованием равномерной шкалы квантования для постинтерполяционных остатков.

Использование равномерной шкалы приводит к тому, что любая точка восстановленного изображения может изменить свою яркость на величину интервала квантования шкалы, а на «гладких» участках (участках с плавно изменяющейся яркостью) это приводит к появлению «выбитых» пикселей и небольших пятен (размером в несколько пикселей), яркость которых заметно отличается от яркости окружающих отсчетов.

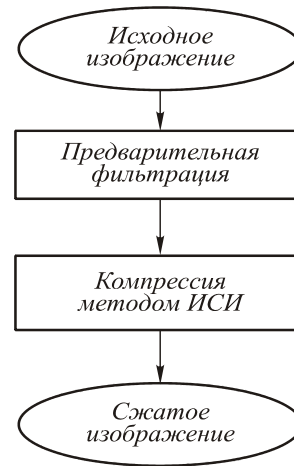


Рис. 2. Схема ИСИ-компрессии с предварительной фильтрацией

Такой эффект имеет место в тех отсчетах, в которых интерполяция производится неточно. В свою очередь интерполяция на гладких участках будет неточна вокруг пикселей, яркость которых сильно отличается от окружающих, то есть, прежде всего, на шумовых пикселях.

Такой вид погрешности метода ИСИ обуславливает требования к предфильтру: предфильтр должен подавлять малые шумы на участках плавно меняющейся яркости, при этом, по возможности оставляя нетронутой полезную информацию изображения, в первую очередь контурные линии. Такими свойствами обладает, в частности, сигма-фильтр [5]:

$$x'(m,n) = \frac{\sum_{i=-M}^M \sum_{j=-N}^N x(m+i,n+j) U_{m,n}^{(\sigma)}(m+i,n+j)}{\sum_{i=-M}^M \sum_{j=-N}^N U_{m,n}^{(\sigma)}(m+i,n+j)},$$

где

$$U_{m,n}^{(\sigma)}(k,l) = \begin{cases} 1, & \text{если } |x(k,l) - x(m,n)| \leq \sigma \\ 0, & \text{иначе} \end{cases},$$

$\sigma$  – параметр фильтра,  
 $(2M+1) \times (2N+1)$  – размеры окна обработки,  
 а  $x'(m,n)$  – отфильтрованное изображение, которое подвергается собственно сжатию методом ИСИ.

Нетрудно видеть, что этот фильтр представляет собой усреднение по тем пикселям заданного окна обработки, значение яркости которых отличается от яркости центрального пикселя окна не более чем на заданную величину параметра алгоритма  $\sigma$ .

#### Вычислительный эксперимент

Для исследования эффективности схемы с предфильтрацией производились вычислительные эксперименты по ее сравнению с базовым методом ИСИ. В качестве меры эффективности при этом использовался известный показатель PSNR (peak-to-peak sig-

nal-to-noise ratio) [5], который для байтовых изображений с диапазоном значений 0..255 имеет вид:

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{S_m S_n 255^2}{\sum_{m=0}^{S_m-1} \sum_{n=0}^{S_n-1} (x(m,n) - \bar{x}(m,n))^2},$$

где  $S_m \times S_n$  – размеры исходного изображения, а  $x(m,n)$  и  $\bar{x}(m,n)$  – отсчеты исходного и декомпрессированного изображений, соответственно.

Для схемы с предфильтрацией и базового метода ИСИ строилась зависимость PSNR от коэффициента сжатия. Типичный вид этой зависимости, полученный для изображения «Лена» (см. рис. 3), показан на рис. 4. Так как в координатах «PSNR-коэффициент сжатия» более эффективному методу соответствует более высоко расположенная кривая, то нетрудно видеть, что схема с предфильтрацией имеет выигрыш.



Рис. 3. Тестовое изображение «Лена»

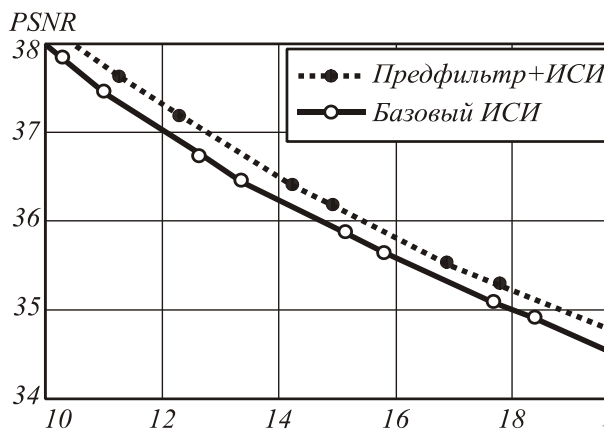


Рис. 4. Зависимость PSNR от коэффициента сжатия K для метода ИСИ с предфильтрацией и базового метода ИСИ

Производилось также сравнение визуального качества декомпрессированных изображений. На рис. 5 и рис. 6 показаны фрагменты восстановленных изображений для базового метода ИСИ и схемы с пред-

фильтром, соответственно. Изображения имеют практически одинаковую погрешность по сравнению с исходным изображением «Лена», причем изображению для схемы с предфильтром соответствует немного больший коэффициент компрессии.

При этом нетрудно видеть, что изображение для схемы с предфильтром лучше по визуальному качеству, так как на нем гораздо меньше выражены артефакты в виде «выбитых» пикселов и небольших пятен.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что использование сигма-предфильтрации является перспективным при иерархической компрессии изображений.

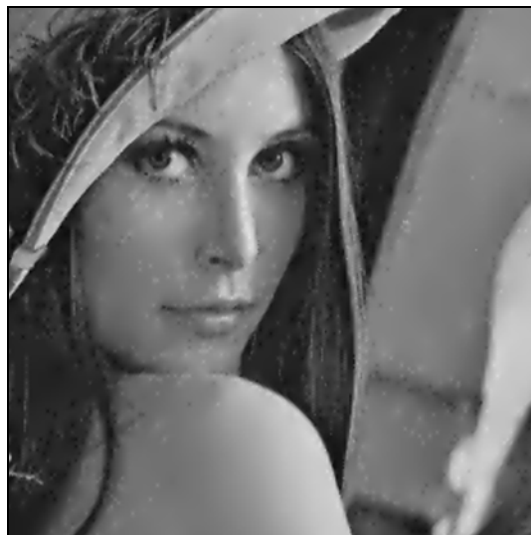


Рис. 5. Фрагмент декомпрессированного изображения для базового метода ИСИ

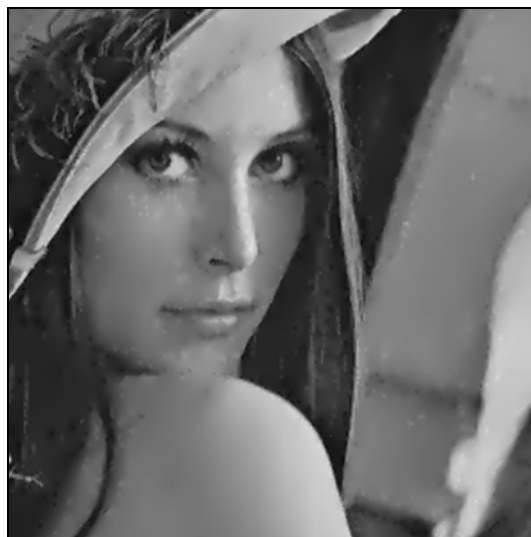


Рис. 6. Фрагмент декомпрессированного изображения для метода ИСИ с предфильтрацией

### Заключение

В данной работе предложен алгоритм предварительной фильтрации для иерархической компрессии изображений на основе сигма-фильтра. Алгоритм предназначен для повышения коэффициента сжатия и улучшения визуального качества декомпрессиро-

ванных изображений. Проведено экспериментальное исследование разработанного алгоритма, показано преимущество схемы с предфильтрацией над базовым методом в координатах «PSNR-коэффициент сжатия» и по визуальному качеству.

#### ***Благодарности***

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и образования РФ, Администрации Самарской области и Американского фонда гражданских исследований и развития (CRDF Project SA-014-02) в рамках российско-американской программы «Фундаментальные исследования и высшее образование» (BRHE), а также при поддержке гранта Президента РФ № НШ-1007.2003.01, и гранта РФФИ № 04-01-96507.

#### ***Литература***

1. Александров В.В., Горский Н.Д. Представление и обработка изображений // Рекурсивный подход. Л.: Наука, 1985. – 192 с.
2. Kortman C.M. Redundancy Reduction – A Practical Method of Data Compression, Proc. IEEE, 55. (Marth, 67). No. 3. P. 253-263.
3. Гашников М.В., Глумов Н.И., Сергеев В.В. Информационная технология компрессии изображений в системах оперативного дистанционного зондирования // Известия Самарского научного центра РАН, 1999. № 1. С. 99-107.
4. Gashnikov M.V., Glumov N.I., Sergeyev V.V. Control of Compression Ratios during Hierarchical Image Compression // Pattern Recognition and Image Analysis, 2005. Vol. 15. No. 1. P. 170–171.
5. Методы компьютерной обработки изображений // Под редакцией В.А.Сойфера. М.: Физматлит, 2001. - 784 с.