

КОНТРОЛЬ СТЕПЕНИ СЖАТИЯ ПРИ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ КОМПРЕССИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Гашиников М.В., Глумов Н.И., Сергеев В.В.
Самарский государственный аэрокосмический университет

Аннотация

Предлагается новый метод обеспечения заданной степени сжатия при иерархической компрессии изображений. Основная идея метода заключается в использовании различных значений управляющего параметра (максимальной погрешности) для различных масштабных уровней представления изображения и коррекции значения погрешности на последнем уровне в зависимости от получаемого объема сжатых данных.

Введение

Основная идея иерархической компрессии [1-4,6] заключается в иерархическом прореживании сжимаемого изображения, интерполяции пропущенных отсчетов и последующем энтропийном кодировании [5] ошибок интерполяции (постинтерполяционных остатков). Контролируемым показателем качества при этом обычно является максимальная погрешность

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

где $x(m,n)$ и $\bar{x}(m,n)$ отсчеты исходного и декомпрессированного изображения соответственно. Очевидно, что невозможно одновременно обеспечить требуемые значения качества и степени сжатия, поскольку для различных изображений при одинаковом качестве достигаются различные степени сжатия.

Существует ряд важных прикладных задач, в которых требуется контролировать именно степень сжатия. Например, при компрессии изображений в системах дистанционного зондирования Земли требование равномерной загрузки канала связи с фиксированной пропускной способностью приводит к необходимости стабилизации скорости формирования выходного потока сжатых данных. В свою очередь, стабилизация выходного потока может быть достигнута только путем контроля степени сжатия при выборе управляющих параметров реализуемого алгоритма сжатия. Эти параметры должны задаваться для каждой очередной "порции" регистрируемого изображения, содержащей одну или несколько строк фиксированной длины (блок изображения).

Обычно для стабилизации скорости формирования выходного потока при компрессии используется буферная память, которая сглаживает колебания выходного объема данных. При этом значения управляющих параметров алгоритма сжатия выбираются исключительно исходя из заполненности буфера.

Однако в работах [3, 4] авторами было показано, что такой подход для иерархической компрессии малоэффективен, поскольку на нестационарных изображениях ведет к значительным колебаниям степени сжатия и заполненности буфера. Был предложен другой подход, основанный на использовании статистических характеристик сжимаемого изображения. Предложенный подход обеспечивал меньшую, в среднем, погрешность и более плавное изменение качества восстановленной видеоинфор-

мации, однако, также как и традиционный подход, требовал значительного объема буферной памяти, поскольку допускал довольно сильное изменение степени сжатия для различных блоков изображения.

В данной работе предлагается новый, более эффективный метод стабилизации скорости, практически не требующий буферной памяти за счет гораздо более точного обеспечения задаваемой степени сжатия для каждого блока изображения.

Описание метода стабилизации

При иерархической компрессии изображение $X = \{x(m,n)\}$ представляется [2-4] в виде набора непересекающихся иерархических уровней X_l :

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

$$X_{L-1} = \{x_L(m,n)\},$$

$$X_l = \{x_l(m,n)\} \setminus \{x_{l+1}(m,n)\}, 0 \leq l \leq L-2,$$

где $x_l(m,n)$ – прореженная матрица отсчетов изображения, взятых с шагом 2^l по каждой координате:

$$x_l(m,n) = x(2^l m, 2^l n).$$

Данные иерархических уровней (квантованные постинтерполяционные остатки отсчетов уровней) сжимаются последовательно, начиная с наиболее прореженного.

В [3, 4] для каждого уровня предлагалось использовать одинаковую максимальную погрешность, определяемую в результате оценок статистических характеристик изображения. В данной работе предлагается использовать переменную по уровням погрешность. Сначала следует вычислить оценку необходимой погрешности для обеспечения требуемой степени сжатия. Однако в отличие от ранее использованного алгоритма в новом алгоритме используются другие, более информативные признаки. Далее на каждом уровне предлагается использовать погрешности, не превышающую вычисленную оценку. Однако такой способ не гарантирует достаточную точность достигаемой степени сжатия всего изображения. Следовательно, на последнем (наименее прореженном) необходимо уточнение значения максимальной погрешности. К моменту сжатия последнего уровня уже известны объемы сжатых данных, полученных для всех

остальных уровней. Соответственно, известен объем сжатых данных, который должен быть получен на последнем уровне для обеспечения заданной степени сжатия. Следовательно, максимальную погрешность на последнем уровне можно подбирать исходя из того, чтобы объем сжатых данных был равен требуемому.

Опишем подробнее алгоритм выбора погрешности. Сначала вычисляется признаки:

$$z_0 = \frac{1}{\sqrt{B}}, \quad z_1 = \sqrt{D_c^{(L-2)}},$$

$$z_2 = \sqrt{D_c^{(0)}}, \quad z_3 = \sqrt{D_e^{(0)}},$$

где B – требуемая степень сжатия в бит/отсчет,

$D_c^{(l)}$ – дисперсия постинтерполяционных остатков в отсчетах иерархического уровня X_l с координатами вида $(2^l(2m+1), 2^l(2n+1))$,

$D_e^{(l)}$ – дисперсия постинтерполяционных остатков в остальных отсчетах иерархического уровня X_l .

Оценка максимальной погрешности вычисляется как квадратичная форма:

$$\hat{\varepsilon}_{\max} = \sum_{0 \leq i+j+k+r \leq 2} a_{i,j,k,r} z_0^i z_1^j z_2^k z_3^r,$$

где $a_{i,j,k,r}$ – коэффициенты, рассчитываемые путем параметрической настройки алгоритма сжатия для предполагаемого класса изображений.

На всех уровнях кроме младшего используются следующие значения максимальной погрешности:

$$\varepsilon_{\max}^{(l)} = b_l \hat{\varepsilon}_{\max}, \quad L-1 \geq l \geq 1,$$

где b_l – коэффициенты, обеспечивающие наибольшую эффективность сжатия в координатах «качество-степень сжатия» и подбираемые экспериментально при настройке алгоритма для заданного класса изображений.

Для выбора погрешности на младшем уровне сначала вычисляется максимально допустимый объем данных (в битах), который можно сгенерировать, не нарушив ограничение на степень сжатия всего изображения:

$$V^{(0)} = MNB - V^{(1)},$$

где $M \times N$ – размер изображения,

а $V^{(1)}$ – объем данных в битах, полученный при компрессии уровней с номерами от $(L-1)$ до 0.

Затем для всех возможных значений максимальной погрешности вычисляется оценка степени сжатия, которая будет получена при использовании этого значения погрешности на последнем уровне. В качестве этой оценки используется энтропия [5] квантованных постинтерполяционных остатков на последнем уровне:

$$H(\varepsilon) = - \sum_{q=-Z}^Z \frac{N(q, \varepsilon)}{N_Q} \log_2 \left(\frac{N(q, \varepsilon)}{N_Q} \right)$$

где N_Q – общее количество квантованных постинтерполяционных остатков на последнем уровне;

$N(q, \varepsilon)$ – количество квантованных постинтерполяционных остатков, равных q при квантовании с максимальной погрешностью, равной ε ;

а Z – максимальное значение отсчета изображения

$$Z = 2^b - 1,$$

где b – количество бит для хранения каждого отсчета исходного (несжатого) изображения.

Собственно значение максимальной погрешности на последнем уровне выбирается исходя из того, чтобы эта оценка не превышала степень сжатия, допустимую на последнем уровне:

$$\varepsilon_{\max}^{(0)} = \arg \max_{0 \leq \varepsilon \leq Z} \left\{ H(\varepsilon) : H(\varepsilon) \leq \frac{V^{(0)}}{MN} \right\}$$

Описанный способ выбора погрешности позволяет обеспечивать заданную степень сжатия с высокой точностью.

Вычислительный эксперимент

Для исследования эффективности разработанного метода контроля степени сжатия был проведен ряд вычислительных экспериментов. На рис. 1 показано 10-битное тестовое изображение, а на рис. 2 – то же самое изображение после компрессии и декомпрессии со степенью сжатия $B = 1$ бит/отсчет.

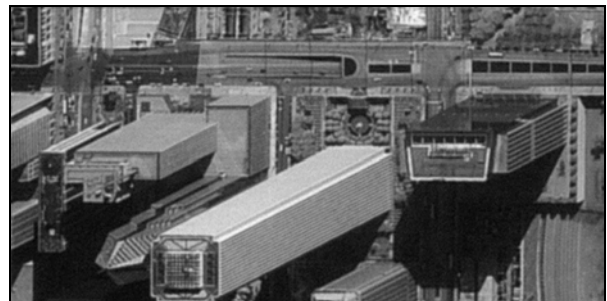


Рис. 1. Исходное изображение (10 бит/отсчет)



Рис. 2. Декомпрессированное изображение (1 бит/отсчет)

График на рис. 3 построен в координатах "степень сжатия - погрешность" и характеризует эффективность иерархического метода сжатия в целом. На

этом графике показана зависимость относительной квадратичной погрешности восстановления изображения D_{error}/D_{image} от реально достигнутой степени сжатия B_{real} .

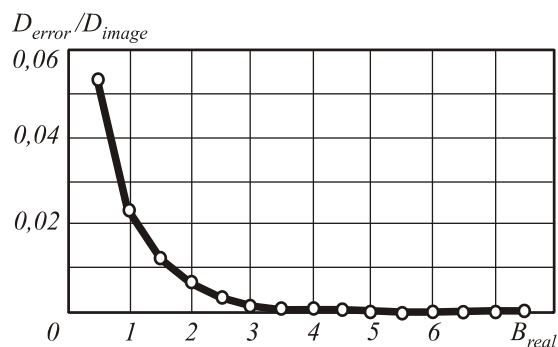


Рис. 3. Зависимость относительной квадратичной погрешности от фактической степени сжатия

Однако для исследования эффективности собственно разработанного метода контроля степени сжатия более информативным является другой параметр: отклонение фактически достигнутой степени сжатия B_{real} от требуемой степени сжатия B , заданной при компрессии:

$$\Delta B = B_{real} - B.$$

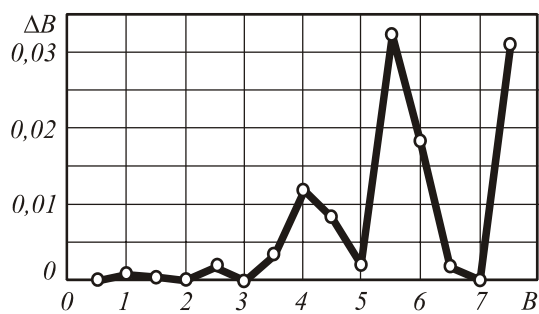


Рис. 4. Точность работы метода контроля степени сжатия

Зависимость этого параметра от заданной степени сжатия B показана на рис. 4. Как видно из этого рисунка, отклонения фактической степени сжатия от требуемой все-таки возможны, но чрезвычайно малы, что позволяет сделать вывод о высокой эффективности и перспективности использования разработанного метода контроля степени сжатия при иерархической компрессии изображений.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Министерства 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); Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), грант 04-01-96507.

Литература

1. Александров В. В., Горский Н. Д. Представление и обработка изображений // Рекурсивный подход. – Л.: Наука, 1985, – 192 с.
2. Методы компьютерной обработки изображений // Под редакцией В.А.Сойфера. М.: Физматлит, 2001. - 784 с.
3. Гашников М.В., Глумов Н.И., Сергеев В.В. Метод компрессии изображений в системах оперативного дистанционного зондирования // Доклады IX Всероссийской конференции «Математические методы распознавания образов» (ММРО-9-99) С.160-163.
4. Гашников М. В., Глумов Н. И., Сергеев В. В. Информационная технология компрессии изображений для систем реального времени // Труды VI международной конференции «Распознавание образов и анализ изображений» (РОАИ-6-2002), Великий Новгород, 21-26 октября 2002. Т. 1. С.138-141.
5. Колесник В. Д., Полтырев Г. Ш. Курс теории информации, М.: Наука, 1982. 416 с.
6. Kortman С. М. Redundancy Reduction – A Practical Method of Data Compression // IEEE, 1967. Vol. 55, No 3. P. 253-263.