

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ФАКТА КОМПРЕССИИ С ПОТЕРЯМИ В ПРОЦЕССЕ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

С. В. КУЛЕШОВ, А. Ю. АКСЕНОВ, А. А. ЗАЙЦЕВА

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН

СПИИРАН, 14-я линия ВО, д. 39, Санкт-Петербург, 199178

<<http://sial.iias.spb.su>>

УДК 004.2:004.6:004.7

Кулешов С. В., Аксенов А. Ю., Зайцева А. А., Идентификация факта компрессии с потерями в процессе обработки изображений // Труды СПИИРАН. Вып. 5. — СПб.: Наука, 2007.

Аннотация. *Описывается метод обнаружения факта применения JPEG компрессии в процессе обработки изображения. Необходимость такого обнаружения обусловлена трудностями при дальнейшей компьютерной обработке изображений в ходе подготовки которых использовалась JPEG компрессия. — Библ. 1 назв.*

UDC 004.2:004.6:004.7

Kuleshov S. V., Aksenov A. Y., Zaitseva A. A. Detection of lossy compression usage in image processing // SPIIRAS Proceedings. Issue 5. — SPb.: Nauka, 2007.

Abstract. *The method of JPEG compression usage detection in computer image processing is proposed. Necessity of this method is caused by increased complexity of further processing of images created with use of JPEG compression. — Bibl. 1 item.*

1. Введение

Метод сжатия изображений JPEG (Joint Photographic Experts Group) является широко используемым методом сжатия фотоизображений. Основной задачей этого формата является минимизация объема данных для представления изображения. Так как данный формат использует сжатие с потерями, это приводит к ухудшению качества сохраняемого материала: понижается точность представления мелких деталей изображения и нарушается цветопередача. Происходит это в разной мере и зависит от степени сжатия и количества различных мелких элементов изображения. Например, если изображение содержит четкие линии и контуры фигур, то вокруг них появляются ореолы - проявляется эффект Гиббса (рис. 1). При повышении степени сжатия, дает знать о себе блочная структура данных - изображение распадается на отдельные квадраты (8x8). Этот эффект особенно заметен на областях с низкой пространственной частотой (плавные переходы изображения, например, изображение чистого неба).

Данные недостатки можно свести к минимуму заданием высоких значений качества, но тогда нельзя достигнуть приемлемых показателей сжатия. Также существует принципиально неустраняемый недостаток: некоторые изображения имеют глубину цвета 12 или 14 бит, но формат JPEG использует только 8 бит цветовой информации, отбрасывая младшие значащие биты.



Рис. 1. Сравнение исходного (слева) и JPEG-сжатого (справа).

Использование изображений в формате JPEG для последующего использования (особенно при последующем его переносе на твердый носитель в полиграфии) не рекомендуется из-за усиления артефактов JPEG-сжатия при обработке и их заметности невооруженным глазом на бумаге.

Ситуация осложняется тем, что единожды появившиеся JPEG артефакты остаются на изображении при дальнейшей обработке и сохранении изображений в другие форматы (в том числе при сжатии без потерь). В случае если происхождение исходного графического материала сомнительно (особенно если он при этом продается как исходное качественное изображение) имеет смысл проводить проверку наличия JPEG артефактов в изображении перед его последующей обработкой независимо от формата файла, в котором он предлагается.

2. Описание особенностей JPEG-компрессии

Задача предлагаемого алгоритма - определить факт наличия JPEG-компрессии изображения. Особенностью JPEG-компрессии является разбиение каждого кадра на квадратные области 8x8 пикселей, к которым применяется спектральное преобразование.

Для начала рассмотрим алгоритм компрессии изображений JPEG согласно [1]. Схема алгоритма JPEG приведена на рис. 2.



Рис. 2. Общая схема алгоритма компрессии JPEG.

Рассмотрим подробнее те этапы, которые вносят изменения (потери) в изображение:

Преобразование цветового пространства. Исходными данными при компрессии изображений обычно являются три матрицы значений соответствующих значениям компонент цвета в цветовом пространстве RGB с компонентами, отвечающими за красную (Red), зеленую (Green) и синюю (Blue) составляющие цвета точки. На данном этапе осуществляется преобразование изображение из RGB в цветовое пространство YCrCb (вариант YUV), в котором Y - яркостная составляющая, а Cr, Cb - цветоразностные компоненты, отвечающие за цвет (хроматический красный и хроматический синий). За счет того, что человеческий глаз менее чувствителен к цвету, чем к яркости, появляется возможность сжимать массивы для Cr и Cb компонент с большими потерями и, соответственно, большей степенью сжатия.

В связи с этой особенностью JPEG-сжатия в предлагаемом алгоритме обнаружения JPEG наибольшая эффективность обнаружения достигается при использовании именно цветовой компоненты, которая сохраняется с большими потерями.

Дискретизация. На этапе дискретизации (рис. 3) производится разбиение исходного растра на матрицы NxN, где N обычно равно 8.

блок 8x8

Рис. 3. Этап дискретизации.

Именно этот этап определяет «блочную структуру» искажений при JPEG-сжатии.

Дискретное косинусное преобразование (ДКП). Для каждой рабочей матрицы применяется ДКП. В полученной матрице, коэффициенты в левом верхнем углу соответствуют низкочастотной составляющей изображения, а в правом нижнем - высокочастотной. Понятие частоты следует из рассмотрения изображения как двумерного сигнала (аналогично рассмотрению звука как сигнала). Плавное изменение цвета соответствует низкочастотной составляющей, а резкие скачки - высокочастотной.

Преобразование ДКП производится по следующим формулам:

$$D_{mn} = C_m C_n \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} f(i,j) \cos\left(\frac{\pi}{2M}(i+\frac{1}{2})\right) \cos\left(\frac{\pi}{2N}(j+\frac{1}{2})\right)$$

$$C_m = \begin{cases} 1 & m=0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & 1 < m < M-1 \end{cases} \quad C_n = \begin{cases} 1 & n=0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & 1 < n < N-1 \end{cases}$$

где M, N - размеры матрицы.

С помощью дискретного косинусного преобразования алгоритм сжатия JPEG осуществляет переход от представления картинка в виде совокупности пространственных волн к ее спектральной интерпретации. Каждая пространственная волна раскладывается на множество гармоник, и наименее значимые из них отбрасываются. От количества оставшихся гармоник зависит степень сжатия изображения. ДКП преобразует полученную на предыдущем этапе рабочую матрицу в матрицу частотных коэффициентов соответствующего размера. В матрице коэффициентов высокочастотные элементы концентрируются в левом верхнем углу, а низкочастотные - в правом нижнем. Большинство графических образов на экране компьютера состоит из низкочастотной информации, поэтому высокочастотные элементы получившейся матрицы можно отбросить. Эта процедура выполняется на следующем этапе.

Квантование матрицы частотных коэффициентов. На этапе квантования полученные после ДКП данные квантуются, что позволяет получать большую степень сжатия, представляя данные с минимальной точностью, которая обеспечивает желаемый уровень качества изображения. Квантование данных после преобразования - главная причина потери качества при сжатии изображения. Математически процесс квантования определяется как

$$D(x, y) = \frac{S(x, y)}{q}$$

где S - матрица после ДКП, D - результат квантования, q - значение параметра квантования на текущем шаге. Для высокочастотных составляющих используются большие значения q , чем для низкочастотных.

При декомпрессии алгоритм деквантования восстанавливает исходные данные без учета внесенных на этапе сжатия потерь. Математически процесс деквантования определяется как:

$$D(x, y) = qS(x, y).$$

Для каждого компонента Y , U , V задается своя матрица квантования. Она формируется таким образом, чтобы значения элементов в левом верхнем углу были небольшими, а коэффициенты в правом нижнем углу, наоборот, имели большие значения. Это позволяет отбросить не воспринимаемую глазом высокочастотную информацию, которой соответствуют элементы из правого нижнего угла матрицы частотных коэффициентов. Далее элементы результирующей матрицы округляются до ближайшего целого числа. В итоге в правом нижнем углу образуются нулевые значения, которые впоследствии отбрасываются.

Кодирование, включающее в себя обход «змейка», алгоритм группового кодирования (RLE) и сжатие Хаффмана, является взаимнооднозначными преобразованием и не вносит искажений в данные. Следовательно, его эффект не влияет на изменение изображения и не может быть обнаружен.

3. Описание алгоритма

Идея алгоритма заключается в поиске положения квадратных областей 8×8 пикселей, имеющих наименьшую дисперсию некоторого параметра пикселей, входящих в рассматриваемую область. Критерием присутствия JPEG-компрессии является отношение количества областей, попавших в «сетку» с шагом 8 пикселей, к общему числу проверенных областей (рис. 4).

Экспериментально показана эффективность работы в цветовой модели YUV , причем в случае цветного изображения целесообразно использовать в

качестве параметра пиксела цветовую компоненту, а в случае черно-белого — яркостную компоненту.

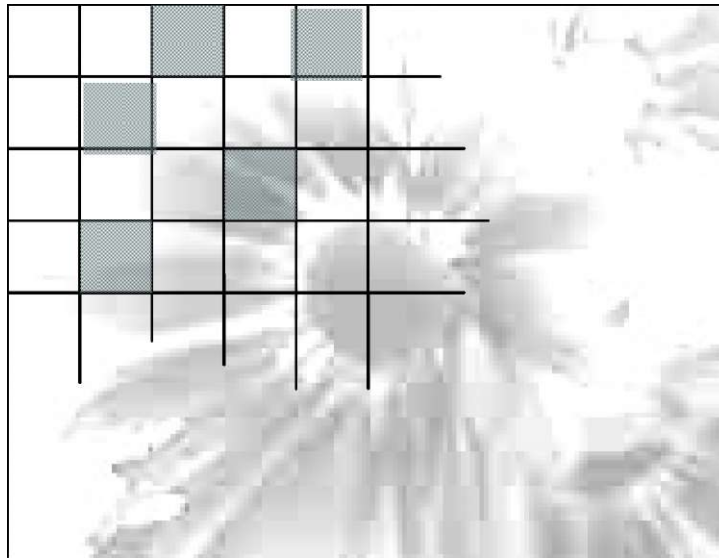


Рис. 4. Иллюстрация алгоритма детектирования JPEG-компрессии (для приведенного случая результат равен 3/5).

В алгоритме выбираются N непересекающихся квадратных областей размером 8×8 . Координаты i -й области $(x_j, base, Y_i, base)$. Каждая область перемещаются в пределах $x, = x; base \cdot X_j^{base} + 7, Y_i = Y_i, base \cdot Y_i, base + 7$.

Для i -й области определяется значения смещения $(0..7)$, дающие минимум дисперсии параметра (яркости Y или цветоразности C_r, C_b):

$$Y_i = \min_{x_j, y_j} DY$$

Фрагмент кода, реализующего данный этап, приведен на рис. 5.

```

for (y=0; y<7; y++)
  for (x=0; x<7; x++)
  {
    cc=0
    for (l=0; l<количество_областей; l++)
      avg[l] += getPixelValue (xbase[l]+x*8,
        ybase[l]+y*8);
    cc++;
  }

```

Рис. 5. Фрагмент кода алгоритма поиска положения квадратных областей 8×8 пикселей, имеющих наименьшую дисперсию

Далее вычисляется количество N , областей имеющих, одинаковые значения X_j, y_j , при которых были получены соответствующие значения Y_j .

Критерий K факта наличия JPEG-компрессии изображения вычисляется следующим образом:

$$K = \frac{N}{N} \cdot 100\%$$

4. Заключение

Экспериментальная проверка показала корректное определение наличия JPEG-компрессии в файлах, сжатых с параметром качества до 50%. Значения критерия для различных входных данных приведены в табл. 1 (параметр JPEGQ соответствует параметру JPEG Quality при сохранении файла 0-100%).

Таблица 1

Результаты работы алгоритма

Описание файла изображения	Результат работы алгоритма
Фотография природы без JPEG-компрессии (оригинал)	Режим Y, Результат = 9% Режим CrCb, Результат = 10%
Фотография природы, Q=100	Режим Y, Результат = 12% Режим CrCb, Результат = 30% Режим Lab, Результат = 9%
Фотография природы, Q=65 (типовое значение)	Режим Y, Результат = 11% Режим CrCb, Результат = 23% Режим Lab, Результат = 7%
Фотография природы, Q=50	Режим Y, Результат = 13% Режим CrCb, Результат = 22% Режим Lab, Результат = 9%
Фотография природы, Q=30	Режим Y, Результат = 13% Режим CrCb, Результат = 48% Режим Lab, Результат = 12%

Литература

1. Wallace G. K. The JPEG algorithm for image compression standard // Communications of the ACM. 1991. Vol. 34, № 4. P 30-44.