

УДК 681.325.5

О.Г. Шух, С.Г. Рассомахин

Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьков

НЕЙТРАЛИЗАЦИЯ ВЛИЯНИЯ АРТЕФАКТОВ НА КАЧЕСТВО ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ИХ СЖАТЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ

Рассмотрены методы повышения качества восстанавливаемых графических данных на основе их представлений, обладающих высоким уровнем компрессии. Разработан метод борьбы с негативным влиянием граничного эффекта Гиббса, основанный на локальном снижении степени сжатия характерных зон сжимаемых изображений. Для подавления эффекта блочности предложен метод интерполяции, основанный на выявлении границ отдельных цветовых объектов изображения с последующей процедурой декомпозиции и сглаживания. Приведены результаты субъективной оценки качества восстанавливаемых изображений.

Ключевые слова: алгоритм JPEG, артефакт, эффект Гиббса, эффект блочности, интерполяция.

Введение

Постановка проблемы. Одним из основных направлений совершенствования цифровых компьютерных сетей является переход к использованию все более эффективных систем компактного кодирования всех видов передаваемых и обрабатываемых данных. Значительный объем информационного трафика связан с хранением, обработкой и передачей видеоданных. Также следует отметить, что развитие сети Internet, наряду с доступностью все более мощных компьютеров и прогрессом в технологии производства цифрового оборудования, привели к широкому использованию цифровых изображений. В связи с этим растет интерес к проблеме улучшения алгоритмов сжатия данных, представляющих изображения.

Анализ последних исследований. Существует множество методов сжатия графических данных и видео, использующих дискретное косинусное преобразование, в том числе стандарты JPEG и MPEG. К достоинствам этих стандартов можно отнести хорошую степень сжатия, а также относительно легкую реализацию и низкую ресурсоемкость. Но, несмотря на ряд преимуществ, при грубом квантовании высокочастотных коэффициентов дискретного косинусного преобразования возможно проявление специфических артефактов, таких как эффект блочности и эффект Гиббса. Существует множество методов подавления и нейтрализации влияния данных артефактов. Наиболее эффективные из них основаны на использовании вейвлет-преобразований в пространственно-частотной области [1]. Однако для значительного визуального улучшения качества графических данных и пикового соотношения сигнал/шум необходимо осуществлять индивидуальный подбор порогов обработки изображений, что является главным недостатком методов, основанных на вейвлет-преобразованиях.

Цель статьи. Целью статьи является разработка методов нейтрализации негативного влияния ос-

новных артефактов на качество воспроизведения монохромных и цветных изображений на основе их сжатых представлений, характеризующихся чрезмерно высокой степенью компрессии.

Основная часть

1. Особенности работы алгоритма JPEG

В настоящее время наиболее известный алгоритм сжатия неподвижных кадров (видеоизображений) основывается на стандарте JPEG (Joint Photographic Expert Group). Он разработан группой экспертов в области фотографии специально для сжатия 24-битных изображений. Указанный стандарт обеспечивает очень хорошее или отличное качество изображения для различных классов неподвижных видеоизображений. Ввиду достаточно эффективного сочетания ряда положительных качеств, таких как большой коэффициент сжатия, простота реализации, отсутствие трудоемких вычислений, требующих большого объема памяти, и ограничений на аппаратуру, в качестве базового алгоритма для исследования в данной работе выбран алгоритм JPEG.

Процедура компрессии с помощью алгоритма JPEG может быть реализована в несколько этапов.

Этап 1. Преобразование цветового пространства. Первой операцией алгоритма является перевод изображения из цветового пространства RGB, с компонентами, отвечающими за красную (Red), зеленую (Green) и синюю (Blue) составляющие цвета точки, в цветовое пространство YCbCr (иногда называют YUV). При этом Y – яркостная составляющая, а Cr, Cb – компоненты, отвечающие за цвет (хроматический красный и хроматический синий).

Этап 2. Сегментация изображений для алгоритма сжатия JPEG. Исходное изображение разбивается на блоки по несколько пикселей (чаще всего 8×8).

Этап 3. Двумерное дискретное косинусное преобразование (ДКП). С помощью дискретного косинусного преобразования алгоритм сжатия JPEG осуществляет переход от представления картинки 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.

Этап 4. Квантование матрицы частотных коэффициентов. На этом шаге матрица частотных коэффициентов поэлементно делится на так называемую матрицу квантования (МК). Далее элементы результирующей матрицы округляются до ближайшего целого числа. В итоге в правом нижнем углу матрицы образуются нулевые значения, которые впоследствии отбрасываются. На этом этапе осуществляется управление степенью сжатия, и происходят самые большие потери. Понятно, что, выбор МК с большими коэффициентами приводит к возрастанию доли нулевых элементов и, следовательно, к большей степени сжатия.

С квантованием связаны специфические артефакты алгоритма. Например, потери в высоких частотах могут проявиться в так называемом "эффекте Гиббса", когда вокруг контуров с резким переходом цвета появляется зашумление (ореол).

Этап 5. Зигзагообразное сканирование матриц. Округленная матрица коэффициентов, полученная на этапе квантования, имеет определенное количество нулевых элементов. Для того чтобы объединить нулевые элементы в группы, производится зигзагообразное сканирование матрицы, начиная с левого верхнего угла. Таким образом, элементы матрицы записываются в цепочку.

В итоге, в начале вектора находятся коэффициенты матрицы, соответствующие низким частотам, а в конце – высоким.

Этап 6. Кодирование. Полученный вектор сворачивается с помощью алгоритма группового кодирования. Затем полученные пары чисел кодируются с помощью алгоритма Хаффмана с фиксированной таблицей.

Для разработки и реализации модели преобразования цифровых изображений при осуществлении сжатия использовалась программная среда математического пакета MathCAD-14. Это обусловлено тем, что MathCAD-14 обладает высоким уровнем визуализации процесса вычисления, формулы и математические выражения вводятся в привычной форме, а также предоставляются широкие возможности работы с графическими представлениями. Поэтому все дальнейшие действия по построению и оптимизации модели рассмотрены с использованием синтаксиса и алгоритмов программирования пакета MathCAD-14.

В связи с тем, что на этапах зигзагообразного сканирования матриц и кодирования полученных векторов не происходит существенных потерь качества, связанных с применением алгоритма JPEG, то в разрабатываемой модели они не были реализованы. Были промоделированы только те этапы, на ко-

торых происходят действия, обуславливающие потери качества, а именно: преобразование цветового пространства, сегментация изображений, применение дискретного косинусного преобразования, квантование матрицы частотных коэффициентов.

2. Метод локального снижения степени сжатия

Как было отмечено ранее, один из артефактов алгоритмов сжатия с потерями, в частности и алгоритма JPEG, – эффект Гиббса. Появление шума (ореола) вокруг границ с резким переходом цвета на сжимаемой картинке объясняется тем, что в окрестности точек разрыва ряд Фурье (при применении дискретного косинусного преобразования) сходится неравномерно. У суммы конечного числа членов ряда Фурье есть характерные всплески в окрестности точки разрыва исходной функции, частота которых увеличивается с увеличением числа слагаемых конечной суммы ряда. Для сжатия изображений с помощью алгоритма JPEG используется дискретное косинусное преобразование для фрагментов, в основном, 8×8 пикселей, которое практически совпадает с частичной суммой ряда Фурье по косинусам. Чем выше степень компрессии, тем заметнее искажения. Зашумление, связанное с эффектом Гиббса, проявляется чаще всего в тех областях изображения, где имеются резкие цветовые переходы.

Рассмотрим один из возможных методов снижения отрицательного влияния описанного артефакта. Предположим, что исходное изображение представлено матрицей числовых значений M . Пусть при разбиении матрицы M на втором этапе работы алгоритма JPEG получена матрица блоков B размерности $n \times k$ (где n, k – количество блоков в строке и столбце соответственно). Каждый элемент матрицы B (блок) характеризуется координатами по строке и по столбцу (i, j – соответственно). Естественным способом борьбы с искажениями в местах контрастных цветовых переходов является локальное снижение степени сжатия. Для поиска блоков изображения, содержащих резкие цветовые переходы, создается вспомогательная бинарная матрица S . Количество элементов данной матрицы равно количеству фрагментов (блоков) исходного изображения, то есть размерности матриц S и B совпадают. Далее для каждого блока проверяется наличие резкого цветового перехода: разность соседних элементов сравнивается с пороговым параметром R , который характеризует допустимую разность числовых значений соседних элементов. Элементы матрицы S определяются по правилу, заданному контрастностью перехода:

$$S_{i,j} = \begin{cases} 0, & \text{при } |B_{i,j-1} - B_{i,j}| \leq R; \\ 1, & \text{при } |B_{i,j-1} - B_{i,j}| > R. \end{cases} \quad (1)$$

Значение параметра R определяется эмпирически по результатам субъективных оценок практи-

ческих экспериментов. Это объясняется тем, что самым адекватным критерием оценки качества изображений после их сжатия с потерями на сегодняшний день является результат зрительного восприятия.

Для осуществления снижения степени сжатия к конкретному блоку матрицы V необходимо выполнение следующего условия: элемент матрицы S с координатами соответствующего блока матрицы V должен содержать флаг наличия резкого цветового перехода. Предложенный способ борьбы с явлением эффекта Гиббса хорошо себя показал для изображений с небольшим количеством резких цветовых переходов. Для графических представлений с множеством деталей и резких переходов цвета использование данного метода нерационально из-за значительного снижения степени сжатия.

3. Метод интерполяции

Одним из наиболее существенных артефактов, возникающих при сжатии графических данных с помощью алгоритма JPEG, является эффект блочности. Это явление характеризуется разбиением всего изображения на квадратные фрагменты с заметными границами. Основной причиной возникновения эффекта блочности является чрезмерное увеличение коэффициента сжатия при компрессии изображений.

Возможным направлением борьбы с эффектом блочности является метод, в основу которого положены процедура дифференциации цветовых объектов и их границ и процедура интерполирования. Предположим, что изображение, полученное в результате компрессии с помощью алгоритма JPEG, представлено матрицей числовых значений M . Сущность предлагаемого метода борьбы с эффектом блочности заключается в следующем.

Вначале осуществляется формализованная процедура определения границ цветовых областей графических объектов на изображении. Для этого используется алгоритм Канни, включающий следующие шаги.

1. Сглаживание (размытие изображения для удаления шума). Для подавления шума применяется размытие изображения фильтром Гаусса, действие которого для двумерного раstra описывается функцией:

$$F(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi \cdot \sigma^2} \cdot e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}}, \quad (2)$$

где x, y – величины числовых эквивалентов пикселей; σ^2 – дисперсия распределения. Взаимное влияние пикселей при гауссовой фильтрации обратно пропорционально квадрату расстояния между ними, а, следовательно, степень размытия определяется параметром σ .

2. Поиск градиентов (границы отмечаются там, где градиент изображения приобретает максимальное значение). Приближенное определение градиента яркости изображения в каждой его точке производит-

ся с использованием оператора Собеля. При этом вычисляется собственно вектор градиента яркости в этой точке, либо только его норма. Оператор Собеля основан на свёртке изображения небольшими целочисленными фильтрами в вертикальном и горизонтальном направлениях. Однако используемая им аппроксимация градиента достаточно грубая, что особенно сказывается на высокочастотных колебаниях изображения. Ядра используемых фильтров представлены матрицами MG_x и MG_y в вертикальном и горизонтальном направлениях соответственно:

$$MG_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}, \quad MG_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

3. Подавление не-максимумов (только локальные максимумы отмечаются как границы). Пикселями границ объявляются точки раstra, в которых достигается локальный максимум градиента в направлении вычисленного вектора. При этом значение направления кратно 45° .

4. Двойная пороговая фильтрация (потенциальные границы определяются порогами). Выделение границ по алгоритму Канни использует два порога фильтрации: для значения пикселя, превосходящего верхнюю границу, принимается максимальное значение, то есть граница считается достоверной, в противном случае пиксель подавляется, и точки со значением, попадающим в диапазон между порогами, принимают фиксированное среднее значение и подлежат уточнению на следующем этапе.

5. Трассировка области неоднозначности (итоговые границы определяются путём подавления всех слабых краёв). На данном заключительном этапе рассматриваемого алгоритма производится выделение групп пикселей с фиксированным средним значением. Добавление к конкретной группе отдельного пикселя происходит в случае его соприкосновения с ней по одному из восьми направлений.

Далее, с целью получения более четких замкнутых контуров графических объектов, целесообразно применить метод подстановки шаблонов границ (детектор границ Прюитт). Этот оператор использует два ядра 3×3 , свёртывая исходное изображение для вычисления приближённых значений производных по горизонтали и по вертикали. Положим, что M_x и M_y – матрицы изображений, в которых каждая точка содержит горизонтальное и вертикальное приближение производной соответственно, тогда значения их элементов рассчитываются следующим образом:

$$M_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot M, \quad M_y = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \cdot M. \quad (4)$$

Обозначим матрицей M_2 сумму двух итоговых матриц, полученных с помощью алгоритма Канни и метода подстановки шаблонов границ и рассмотрим процесс интерполяции i -й строки мат-

рици M . Пусть строка содержит d элементов. Операция линейного интерполирования производится над отдельным фрагментом этой строки в интервале $[x_0, x_1]$ в соответствии с формулой:

$$F(x) = f(x_0) + \frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0}(x - x_0). \quad (5)$$

Разбиение строки и независимая обработка отдельных её частей позволяет сохранить контрастность и четкость изображения, препятствуя искажению границ графических объектов. Начало интервала x_0 определяется по правилу:

$$x_0 = \begin{cases} 0, & \text{для первого фрагмента строки;} \\ j+1, & \text{для других фрагментов строки;} \end{cases} \quad (6)$$

где j – номер последнего элемента i -й строки, вошедшего в предшествующий интервал.

Конец интервала x_1 определяется согласно следующему правилу:

$$x_1 = \begin{cases} k-p, & \text{при } M_{2_{i,k}} > L, \quad k-p > x_0; \\ k-1, & \text{при } M_{2_{i,k}} > L, \quad k-p \leq x_0; \\ d, & \text{при } M_{2_{i,k}} \leq L; \end{cases} \quad (7)$$

где $k \in [x_0 + 1; d]$; p – размер одного квадратного блока матрицы B ; L – пороговый параметр, определяющий наличие цветового перехода.

Значение функции в точках начала и конца интервала определяется следующим образом:

$$f(x_N) = M_{i,x_N}, \quad N = \{0, 1\}. \quad (8)$$

В соответствии с рассмотренным методом производится декомпозиция всех строк и столбцов матрицы M . Для каждого полученного интервала составляется уравнение прямой с последующим применением процедуры линейного интерполирования:

$$\frac{y - f(x_0)}{f(x_1) - f(x_0)} = \frac{x - x_0}{x_1 - x_0}. \quad (9)$$

Откуда

$$f(x) \approx y = f(x_0) + \frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0}(x - x_0). \quad (10)$$

В результате удаётся значительно уменьшить проявление эффекта блочности, что положительно влияет на качество восприятия изображения.

Выводы

Результат статьи заключается в получении универсальных методов нейтрализации основных артефактов, возникающих при использовании алгоритма сжатия графических представлений JPEG. Главным достоинством предложенных методов является возможность значительного увеличения степени сжатия изображений без существенных потерь качества. Результаты практических экспериментов продемонстрировали результативность обоих методов, которые успешно справились с задачей подавления влияния основных артефактов алгоритма JPEG на качество воспроизведения монохромных и цветных изображений при повышении степени сжатия выше критической.

Список литературы

1. Gopinath R.A. Wavelet Based Post Processing of Low Bit Rate Transform Coded Images / R.A. Gopinath // Proc. ICIP'94, Nov. 1994. – P. 913-917.
2. Журавель И.М. Краткий курс теории обработки изображений / И.М. Журавель. – М., 1999.
3. Ватолин Д. Методы сжатия данных / Д. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов. – М.: Диалог-МИФИ, 2003. – 381 с.
4. Кирьянов Д.В. Самоучитель Mathcad 13 / Д.В. Кирьянов. – С-Пб.: БХВ-Петербург, 2006. – 528 с.
5. Артюшенко В.М. Цифровое сжатие видеoinформации и звука / В.М. Артюшенко, О.И. Шелухин, М.Ю. Афонин. – М.: «Дашков и Ко», 2004. – 426 с.
6. Электронный ресурс. – Режим доступа к ресурсу: http://habrahabr.ru/blogs/image_processing/114589.

Поступила в редколлегию 1.03.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В. А. Краснобаев, Полтавский национальный технический университет им. Ю. Кондратюка, Полтава.

НЕЙТРАЛІЗАЦІЯ ВПЛИВУ АРТЕФАКТІВ НА ЯКІСТЬ ВІДТВОРЕННЯ ГРАФІЧНИХ ДАНИХ НА ОСНОВІ ЇХ СТИСЛИХ УВЯЛЕНЬ

О.Г. Шух, С.Г. Рассомахин

Розглянуто методи підвищення якості відновлюваних графічних даних на основі їх уявлень, які мають високий рівень компресії. Розроблено метод боротьби з негативним впливом межового ефекту Гіббса, що базується на локальному зниженні ступеня стиснення характерних зон стискуваних зображень. Для подолання блокового ефекту запропоновано метод інтерполяції, який базується на виявленні меж окремих колірних об'єктів зображення з подальшою процедурою декомпозиції та згладжування. Наведені результати суб'єктивних оцінок якості відновлюваних зображень.

Ключові слова: алгоритм JPEG, артефакт, ефект Гіббса, ефект блокової, інтерполяція.

NEUTRALIZATION OF ARTEFACT IMPACT ON GRAPHIC DATA REPRODUCTION QUALITY BASED ON THEIR COMPRESSED REPRESENTATION

O.G. Shukh, S.G. Rassomakhin

The methods that improve restored graphic data quality based on their representations with the high compress level are reviewed. The method of negative influence removing of the edge Gibbs's effect based on local compression degree decrease of specific compressed images zones was made. For blocking effects suppression the interpolation method based on edge detection of separate color picture object with subsequent decomposition and smoothing procedure is proposed. The results of subjective evaluation of restored images quality are adduced.

Keywords: algorithm of JPEG, artefact, effect of Gibbs, effect of block, interpolation.