

УДК 681.3.053

И. Г. Таранцев

(Новосибирск)

**ОПТИМИЗИРОВАННЫЙ АЛГОРИТМ
СЖАТИЯ СИНТЕЗИРОВАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ
ДЛЯ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ**

Подробно рассматривается предложенный ранее алгоритм сжатия синтезированных изображений, основанный на уменьшении числа используемых цветов. Рассматриваются методы оптимизации подбора палитры для изображений небольшого размера при сжатии без визуальных искажений. Приведены статистические данные для оценки параметров алгоритма.

Алгоритм сжатия изображений JPEG [1], чаще всего используемый в системах компьютерной графики на базе персонального компьютера, разрабатывался для сжатия естественных (фотографических и телевизионных) изображений, характеризующихся высоким уровнем шумов, сглаженными цветовыми переходами, отсутствием мелких контрастных деталей. Для синтезированных изображений характерны высокая контрастность и четкость во всех планах визуальной сцены, обилие важных мелких деталей (типа титров) с резкими переходами цвета, полное отсутствие шумов. Поэтому при кодировании алгоритмом JPEG синтезированных изображений возникают характерные искажения [2]. В статье [2] описан метод сжатия синтезированных изображений «Феникс», основанный на замене палитры из N цветов небольшого участка изображения (8×8 пикселей) палитрой, меньшей размерности. Рассмотрено несколько способов сокращения цветовой палитры, приведена качественная оценка каждого из них. Отмечено, что наиболее подходящим для сжатия синтезированных изображений является статистический способ подбора палитры. В данной работе подробно описан этот способ (метод итеративного деления цветового параллелепипеда) и приведен ряд его оптимизаций для сжатия синтезированных изображений без видимых искажений.

Метод деления цветового параллелепипеда. В пространстве RGB строится минимальный параллелепипед, охватывающий все цвета исходной палитры (рис. 1). Внутри него итеративно определяются цветовые параллелепипеды (рис. 2), по которым строится конечная палитра: число цветов в палитре равно

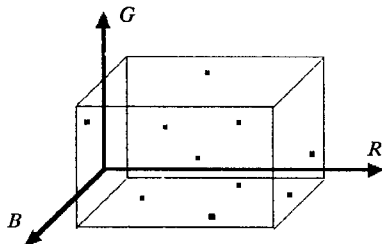


Рис. 1

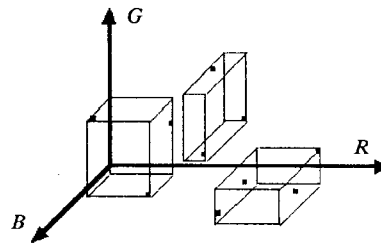


Рис. 2

числу параллелепипедов, каждый цвет в палитре является среднеарифметическим цветом \bar{C} соответствующего параллелепипеда.

N-й шаг итерации. Для каждого цветового параллелепипеда вычисляется общий вес $P = \sum_i w_i P_i$, зависящий от нескольких параметров: максимального размера параллелепипеда $L_{\max} = \max(L_R, L_G, L_B)$, где L_R , L_G и L_B являются размерами параллелепипеда вдоль осей R , G и B соответственно; числа цветов в параллелепипеде n ; отношения L_{\max}/n ; отношения L_{\max}/L_{\min} , где $L_{\min} = \min(L_R, L_G, L_B)$.

Параллелепипед с максимальным общим весом делится на две части секущей плоскостью. В качестве секущей плоскости выбирается плоскость, нормаль которой совпадает с той осью, вдоль которой размер параллелепипеда максимален. Плоскость может проходить через центр параллелепипеда или \bar{C} . При равномерном распределении цветов оба варианта практически эквивалентны. При значительной неравномерности распределения цветов (рис. 3, *a*) деление параллелепипеда плоскостью, проходящей через \bar{C} , может давать явные ошибки (рис. 3, *c*). Кроме того, деление параллелепипеда пополам (рис. 3, *b*) проще и быстрее в реализации: не нужно вычислять \bar{C} для каждого разбиения параллелепипеда. (Крестом отмечены \bar{C} для каждого из параллелепипедов.)

В процессе деления образуются два набора цветов, по которым вместо разделенного параллелепипеда строятся два новых цветовых параллелепипеда, причем те параллелепипеды, размеры которых не превышают максимально допустимой величины ошибки приближения цвета Err_{\max} , в дальнейшем не рассматриваются. Поскольку размер обрабатываемого изображения мал (8×8 пикселей), величину Err_{\max} можно считать одинаковой для всех параллелепипедов.

0-й шаг итерации. Поскольку вначале имеется только один набор цветов (исходная палитра), то для деления выбирается исходный параллелепипед (см. рис. 1). В остальном 0-й шаг итерации подобен другим шагам.

Итеративный цикл деления цветовых параллелепипедов завершается при достижении максимально допустимого числа цветов конечной палитры (ограничение количества параллелепипедов) или в том случае, когда L_{\max} всех параллелепипедов не будут превышать Err_{\max} .

Оптимизация алгоритма для сжатия изображений без видимых искажений. Высокое качество выходного изображения, обеспечиваемое устройством «Феникс» [2], подразумевает отсутствие визуально различимых искажений, возникающих в процессе кодирования изображения. В описанном методе погрешность кодирования ограничена сверху L_{\max} самого большого из конечных параллелепипедов. Если ограничить размер конечной палитры, то процесс деления цветовых параллелепипедов может завершиться до того, как L_{\max} любого из параллелепипедов будет меньше Err_{\max} . Отсутствие визуально различимых искажений требует ограничения максимальной погрешности кодирования, т. е. процесс деления параллелепипедов должен идти до тех пор, пока L_{\max} всех параллелепипедов не будет превышать Err_{\max} .

Кроме того, отсутствие ограничения максимального количества цветов конечной палитры позволяет существенно упростить процесс выбора параллелепипедов для деления. Общий вес цветового параллелепипеда определяется только его L_{\max} . Независимо от всех других параметров, влияющих на опреде-

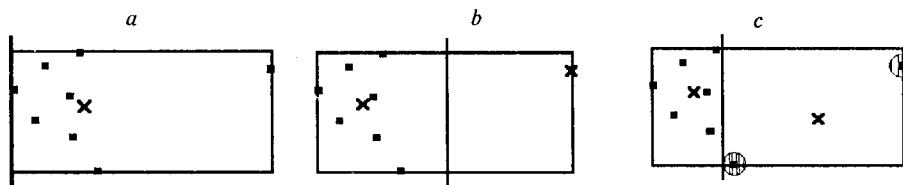


Рис. 3

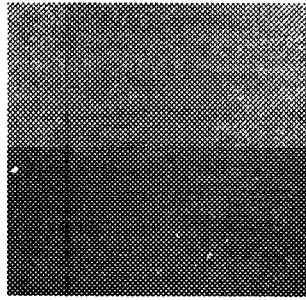


Рис. 4

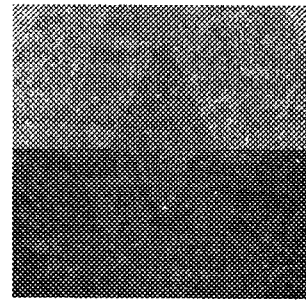


Рис. 5

ление общего веса, параллелепипед необходимо будет разделить, если его L_{\max} больше Err_{\max} . Изменение порядка деления параллелепипедов никак не влияет на конечный результат.

Предварительное разделение цветов. Для синтезированных изображений характерно наличие четких резких границ между областями при полном отсутствии шумов, скрадывающих небольшие переходы цвета. Поэтому на синтезированном изображении глаз легко отделяет объект от фона даже при небольшой разнице цвета соседних областей изображения (граница полупрозрачного объекта). Рассмотрим изображение, состоящее из двух областей с линейной интерполяцией цвета (рис. 4). В цветовом пространстве такое изображение будет представлено двумя непересекающимися отрезками. При делении параллелепипеда возможна ситуация, когда ближайшие цвета из разных отрезков попадут в один конечный параллелепипед, т. е. заменятся одним промежуточным цветом. В этом случае граница между областями потеряет четкий контур (рис. 5). Для избежания подобной ситуации предлагается метод предварительного разделения цветов на непересекающиеся группы. Каждый цвет исходного изображения окружается кубом некоторого размера l . Все цвета, кубы которых пересекаются, объединяются в группы. К каждой группе цветов независимо от остальных групп применяется обычный алгоритм. Конечная палитра получается при объединении палитр всех групп. Заметим, что размер куба l , которым окружаются цвета, может быть меньше Err_{\max} , используемого для деления каждой из групп цветов. Предложенная оптимизация алгоритма особенно эффективна при сжатии полупрозрачных объектов.

Выбор Err_{\max} для каждой группы цветов. Существенным недостатком метода деления цветового параллелепипеда является появление полос на изображениях с плавной интерполяцией цвета. Зрение человека обладает дифференциальной чувствительностью [3], т. е. если протяженность соседних областей с небольшой разницей в цвете достаточно велика, то граница между этими областями ясно различима даже при очень маленькой разнице цветов (3–4 единицы). Причем чем больше площадь областей с постоянным цветом, тем меньше должна быть разница их цветов, чтобы исключить распознавание границы между такими областями. Наличие шумов, характерное для естественных изображений, размывает и делает менее заметной границу между областями с близкими цветами. Синтезированные изображения не содержат шумов, поэтому для избежания возникновения визуально различимых искажений необходимо существенно уменьшать Err_{\max} при сжатии областей с плавной интерполяцией цвета. Заметим, что в этом случае максимальный размер исходного параллелепипеда L_0 очень небольшой.

С другой стороны, изображение с большим количеством контрастных переходов можно кодировать с меньшей точностью. На рис. 6 видно, что одна и та же ошибка приближения цвета в первом случае (а) практически не заметна, а во втором случае (б) принципиально меняет характер изображения.

Таким образом, для разных изображений Err_{\max} может быть разным при визуальном одинаковом качестве: чем дальше цвета отстоят друг от друга, т. е.

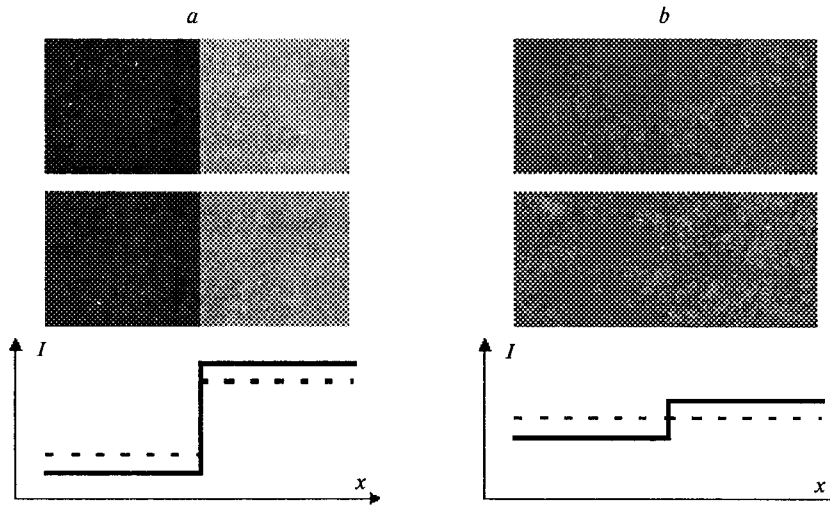


Рис. 6

чем больше максимальный размер начального объемлющего параллелепипеда L_0 , тем больше Err_{max} .

На рис. 7 представлена зависимость Err_{max} от L_0 , полученная по результатам обработки различных областей изображений (размер области 8×16 пикселей). Треугольники соответствуют разным вариантам интерполяции цвета по горизонтали: разница цветов на границе области равна L_0 единиц. Квадраты соответствуют интерполяции цвета по диагонали области. Поскольку длина пути наклонного градиента (длина диагонали) равна примерно 18 пикселям против 8 пикселей для горизонтального градиента, то область одного цвета при той же величине Err_{max} значительно больше, а значит, искажения заметны значительно лучше. Поэтому при наклонном градиенте приходится выбирать Err_{max} меньше, чем при горизонтальном градиенте. Ромбы получены при сжатии различных частей тестового изображения (рис. 8).

Масштабирование осей R, G и B. Чувствительность зрительного аппарата человека к разным цветам различна [3], а именно чувствительность в зеленой части спектра значительно выше, чем в красной, а в красной выше, чем в синей. Поэтому имеет смысл предварительно масштабировать оси R и B примерно в

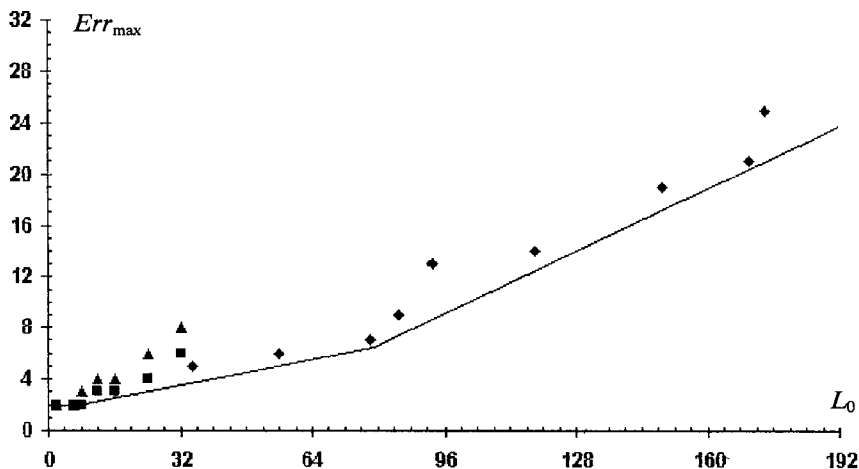


Рис. 7

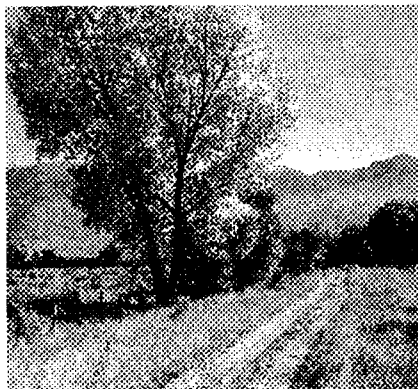


Рис. 8

1,5 и 2 раза соответственно по сравнению с осью G . Это позволяет в дальнейшем работать с абсолютными величинами R , G и B напрямую.

Итак, конечный вариант оптимизированного алгоритма сжатия изображений «Феникс» выглядит следующим образом:

1) для очередного участка изображения (блок 8×8 пикселей) строится исходная палитра, цвета которой масштабированы по осям R , G и B ;

2) каждый цвет окружается кубом некоторого размера l ;

3) все цвета, кубы которых пересекаются, объединяются в группы;

4) для каждой группы цветов строится объемлющий параллелепипед и

определяется Err_{\max} по максимальному размеру L_0 этого параллелепипеда и по количеству цветов в группе;

5) объемлющий параллелепипед итеративно делится на цветовые параллелепипеды до тех пор, пока размеры всех параллелепипедов не будут превышать Err_{\max} ;

6) для каждого параллелепипеда каждой из групп цветов вычисляется среднеарифметический цвет \bar{C} , являющийся элементом конечной палитры.

Для регулирования коэффициента сжатия и качества восстановленного изображения можно использовать величины l и Err_{\max} . Удобнее всего применять один параметр — «качество» Q от 0 до 100 %, причем $l = l(Q)$ и $Err_{\max} = E(Q)$, где $l(Q)$ и $E(Q)$ — монотонно убывающие функции от 64 до 0 и от $L_0 \cdot 16/n$ до 0 соответственно.

Сравнение результатов. Алгоритм JPEG, обычно используемый для сжатия полноцветных изображений, имеет ряд недостатков, особенно четко проявляющихся при кодировании синтезированных изображений [2]. Первый важный недостаток — характерные искажения, возникающие вокруг контрастного перехода цвета (всплески). Второй недостаток — появление мелкого шума (рябь) в областях с линейной интерполяцией цвета, также достаточно часто используемой в компьютерной графике. Предложенный алгоритм не содержит этих недостатков.

При сжатии естественных изображений (см., например, рис. 8) без видимых искажений алгоритм «Феникс» обеспечивает сжатие в 3—6 раз, что соответствует примерно коэффициенту сжатия алгоритма JPEG. При сжатии синтезированных изображений коэффициент сжатия предложенного алгоритма (от 6 до 10 раз) значительно выше коэффициента сжатия алгоритма JPEG, ориентированного в первую очередь на сжатие естественных изображений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wallace G. K. The JPEG still picture compression standard // Com. of the ACM. 1991. 34, N 4. P. 30.
2. Арсенин И. М., Морозов Б. Б., Роговой И. В. и др. Сжатие синтезированных изображений для систем реального времени // Автометрия. 1994. № 6. С. 78.
3. Измайлов Ч. А., Соколов Е. Н., Черноризов А. М. Психофизиология цветового зрения. М.: Изд-во МГУ, 1989.

Поступила в редакцию 23 сентября 1996 г.