

УДК 681.323

Д.В. Гринев¹, О.Д. Анохина², А.В. Дремлюга³¹Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба²Харьковский национальный экономический университет³Объединенный научно-исследовательский институт Вооруженных Сил, Харьков

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ФОТОИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦВЕТОРАЗНОСТНЫХ ПЛОСКОСТЕЙ

Разработана математическая модель представления цифровых фотоизображений, учитывающая наличие в цветоразностном представлении изображений дополнительно структурной избыточности. Предлагается подход к сжатию изображений путем перевода изображения в цветоразностное представление на основе формирования массива длин последовательностей одинаковых элементов и массива цветовых координат.

модель представления цвета RGB, цифровое изображение, цветовые координаты

Введение

Постановка задачи и анализ литературы.

Сжатие изображения – один из самых важных вопросов, возникающих при хранении и передаче информации по каналам связи. Для передачи качественного цветного телевизионного изображения с частотой 50 кадров в секунду необходима пропускная способность каналов связи, не менее 3×10^8 (бит/с), что меньше реальных скоростей передачи на несколько порядков. Возникает необходимость уменьшить объем изображения и одновременно контролировать его качество. Так как изображение всегда обладает определенным родом избыточностью, то для уменьшения объемов изображений требуется ее сократить. Следовательно, возникает необходимость в разработке методов сжатия, способных устранить избыточность изображений. Для описания любого изображения выбирается модель представления цвета [1 – 3]. Наиболее распространенной моделью представления цвета в цифровом виде является RGB, которая имеет геометрическую интерпретацию в виде куба с вершиной в начале координат (0, 0, 0), соответствующей черному цвету [1, 2]. Максимальное значение (1, 1, 1) соответствует белому цвету. Диагональю куба, выходящей из начала координат и заканчивающейся в точке белого цвета, является ахроматический столб, описывающий оттенки серого цвета. Для ахроматического столба свойственно то, что на нем находятся точки, имеющие равные значения координат R, G и B. В связи с этим вызывает интерес рассмотреть модель представления цвета, для которой ахроматический столб совпадает с осью координат. В этом случае точки, лежащие вблизи ахроматического столба, будут соответствовать элементам изображения с меньшим динамическим диапазоном, по сравнению с моделью RGB. Тогда для цифрового описания изображения меньший динамический диапазон

будет способствовать увеличению степени сжатия. Такая цветовая модель называется цветоразностной моделью представления цвета (ЦРМ) [1, 2]. В подобной модели представления цвета элемент изображения описывается яркостью и цветностью, причем координатная ось яркости совпадает с ахроматическим столбом. Одной из распространенных цветоразностных моделей является модель YCrCb. В ней Y – яркостная составляющая, а Cr и Cb – компоненты, отвечающие за цвет (хроматический красный и хроматический синий). Но до настоящего времени, несмотря на значительное число работ, посвященных проблемам сжатия цветного изображения, не решена **актуальная научная задача** устранения избыточности изображений, представленных в цветоразностном виде. **Целью данной статьи** является разработка метода сжатия цветной видеоинформации на основе устранения избыточности изображений представленных в цветоразностном виде.

Обоснование наличия избыточности в цветоразностных плоскостях

Как было отмечено во введении, наиболее распространенными моделями представления цвета в цифровом виде являются модель RGB и цветоразностная модель (ЦРМ) YCrCb [1, 2].

Переход от цветовой модели RGB к YCrCb осуществляется по формулам [1 – 3]:

$$\begin{aligned} Y &= 0.299 R + 0.587 G + 0.114 B; \\ Cr &= (R - Y) 0,713; \\ Cb &= (B - Y) 0,564. \end{aligned} \quad (1)$$

Анализ выражения (1) показывает, что при равенстве координат цветовых компонент яркостная составляющая Y будет равна цветовым компонентам Y = R = G = B. Тогда из выражения (1) видно, что Cr = Cb = 0. Значит, если произвольная точка изображения представлена оттенками серого, то при переводе изображения в YCrCb значения Cr и Cb будут иметь нулевой динамический диапазон, а

основную информацию будет нести только яркостная составляющая Y . Следовательно, чем меньше значения R , G и B отличаются между собой, тем ближе будут к нулю значения C_r и C_b после перехода к ЦРМ и значение динамического диапазона в $YCrCb$ будет ниже, чем в RGB . Поэтому для цветоразностного представления изображения создается больше возможности для устранения избыточности, чем для модели RGB . Принимая во внимание то, что наибольшее сжатие изображений достигается при обработке не одного элемента, а вектора, перейдем от рассмотрения скалярной характеристики изображения к векторной. Тогда, если разность между соседними значениями элементов R_2 и R_1 равна ΔR , а между B_2 и B_1 равна ΔB , то

$$Cr1 = (R1 - Y(R1)) 0,713;$$

$$Cr2 = (R1 + \Delta R - Y(R1) - \Delta Y(R)) 0,713;$$

$$Cb1 = (B1 - Y(B1)) 0,564;$$

$$Cb2 = (B1 + \Delta B - Y(B1) - \Delta Y(B)) 0,564,$$

где $\Delta Y(R) = Y(R_2) - Y(R_1) = 0.299 \Delta R$ – разность между яркостными составляющими $Y(R_2)$ и $Y(R_1)$ при $G = \text{const}$, $B = \text{const}$; $\Delta Y(B) = Y(B_2) - Y(B_1) = 0.114 \Delta B$ – разность между яркостными составляющими $Y(B_2)$ и $Y(B_1)$ при $R = \text{const}$, $G = \text{const}$.

Следовательно:

$$Cr2 - Cr1 = 0,5 (R_2 - R_1) = 0,5 \Delta R;$$

$$Cb2 - Cb1 = 0,5 (B_2 - B_1) = 0,5 \Delta B.$$

Значит, при вышеперечисленных условиях осуществляя переход к цветоразностному представлению цвета разница между соседними элементами матриц цветовых компонент уменьшится на 50% для компонент, отвечающих за красный и синий цвет, относительно RGB . Тогда для фрагментов изображений, у которых площадь плавно изменяющихся значений яркости превышает площадь сильнонасыщенных деталей, увеличивается длина последовательности элементов с одной цветовой координатой (серии) для матриц C_r и C_b . Для сильнонасыщенных изображений характерны небольшие длины последовательностей одинаковых элементов. По мере снижения степени насыщенности длина последовательности элементов увеличивается. Значит, для плоскостей C_r и C_b цветоразностной модели представления изображения характерно наличие дополнительной структурной избыточности, вызванной содержанием одноцветных областей с неравномерным распределением длин последовательностей одинаковых элементов. Для устранения такой избыточности требуется выявить длины последовательностей элементов, которые описываются двумя характеристиками: длиной серии и цветовой координатой. Поэтому, чем больше в блоке изображения будет длина повторяющихся точек, тем меньше элементов потребуется на описание данного блока. Тогда в целях наибольшего увеличения длины серии предлагается дополнительно понижать динамический диапазон путем уменьшения психовизуальной избыточности. Исходя из того, что человеческий глаз менее чувствителен к изменению

цвета, чем к изменению яркости [1, 2, 4], предлагается цветовые компоненты C_r и C_b аппроксимировать по среднему значению. Так как в слабо насыщенных фрагментах изображения соседние значения цветовых координат незначительно отличаются друг от друга, то после проведения аппроксимации длина серии дополнительно увеличивается.

Формирование массивов длин серий M_{ds} и цветовых координат M_{ck} происходит следующим образом. Все плоскости ЦРМ разбиваются на равные квадратные блоки. В этих блоках выявляются серии повторяющихся элементов и длина каждой серии заносится в массив M_{ds} длин серий, а цветовая компонента, соответствующая данной серии – в массив M_{ck} цветовых координат. В виду того, что при переходе к цветоразностному виду увеличиваются длины серий массивов цветоразностных компонент C_r и C_b из-за уменьшения динамического диапазона и проведения аппроксимации, то массивы длин серий для плоскостей C_r и C_b будут иметь резко неравномерное распределение значений элементов. Получается, что для сильнонасыщенных участков значения длин серий малы или равны единице, а для слабо насыщенных участков значения длин серий на несколько порядков выше. Значит, массивы длин серий будут иметь дополнительную структурную избыточность, обусловленную сужением динамического диапазона и повышением степени неравномерности распределения значений элементов массивов цветоразностных компонент.

Таким образом, появляется необходимость в разработке метода сжатия изображения, позволяющего устранять структурную избыточность в цветоразностных плоскостях.

Экспериментальная оценка степени сжатия изображений

С целью оценки коэффициента сжатия были проведены эксперименты над различными классами изображений, в которых степень насыщенности изображения характеризовалась вероятностью цветового перепада. На рис. 1 представлен график зависимости коэффициента сжатия $K_{сж}$ от вероятности цветового перепада P для моделей $YCrCb$ и RGB .

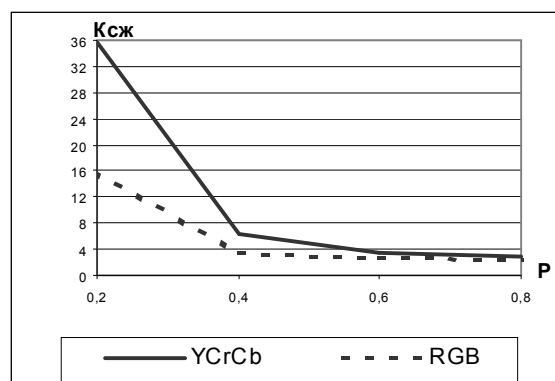


Рис. 1. Зависимость коэффициента сжатия $K_{сж}$ от степени насыщенности изображения P

При проведении эксперимента использовались блоки размером 64×64 и квадратные матрицы $M_{дс}$ и $M_{ск}$ с количеством строк и столбцов, равных $m = n = 8$. Сжатие изображения происходило без потерь качества и без применения аппроксимации. Из представленного на рис.1 графика видно, что после применения кодирования коэффициент сжатия для YCrCb выше, чем для RGB в среднем от 1,3 до 2,3 раз. При этом с уменьшением степени насыщенности коэффициент сжатия возрастает в среднем от 1,2 до 9 раз.

Выводы

В результате проведенных исследований разработана математическая модель представления цифровых фотоизображений. Выявлено наличие в цветоразностной модели представления цвета структурной избыточности, вызванной содержанием одноцветных областей с неравномерным распределением длин серий и пониженным динамическим диапазоном. В результате сокращения структурной избыточности в YCrCb достигается дополнительный выигрыш в сжатии относительно

сжатия изображения представленного в RGB в среднем от 1,5 до 2,5 раз. При этом степень сжатия различных классов изображений без потери качества находится в диапазоне от 2,9 до 35,5 раз.

Список литературы

1. *Цифровая обработка телевизионных и компьютерных изображений / Под ред. Ю.Б. Зубарева и В.П. Дворковича – М.: МЦНТИ, 1997. – 212 с.*
2. *Стрюк А.Ю., Бохан К.О. Цветовые модели в системах сжатия видеоинформации // Радиоэлектроника и информатика. – 2002. – № 1. – С. 23 – 25.*
3. *Ватолин В., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. Методы сжатия данных. – М.: ДИАЛОГ – МИФИ, 2002. – 384 с.*
4. *Гринев Д.В., Баранник В.В. Метод цветоразностного сжатия изображений // Системи обробки інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ, 2003. – Вип. 5. – С. 52 – 55.*

Поступила в редколлегию 1.03.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.И. Стрелков, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.