

УДК 621.391

А.А. РЕЗУНЕНКО, А.Ю. СТРЮК

Полтавский военный институт связи, Украина

МЕТОДЫ ЦЕЛОЧИСЛЕННОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЦВЕТОВЫХ КООРДИНАТ ВИДЕОДАНЫХ

Рассмотрены цветовые модели представления видеоданных. Выбран и усовершенствован метод целочисленного преобразования цветковых координат. Проведена оценка целочисленных способов преобразования цветковых пространств в целях их применения для повышения эффективности методов сжатия видеоданных без потерь.

видеоданные, цветовая модель (пространство), метод сжатия, целочисленное преобразование, энтропия, пиковое соотношение сигнал/шум, цветовая компонента

Постановка проблемы в общем виде

Одним из видов информации, циркулирующей в телекоммуникационных системах, является видеоинформация, в частности, статические изображения (фотографии, компьютерная графика и др.). Изображения – это своеобразный тип данных, характеризующийся тремя особенностями [1]:

1. Объем памяти, занимаемый изображением, намного больше, чем объем, занимаемый текстом. К примеру, изображение размером 500x800 точек занимает 1,2 Мб, т.е. столько же, сколько занимают 400 страниц текста (60 знаков в строке, 42 строки на странице).

2. Человеческое зрение при анализе изображения оперирует контурами, общим переходом цветов и сравнительно нечувствительно к малым изменениям в изображении.

3. Изображение в отличие, например, от текста обладает избыточностью в двух измерениях, т.е., как правило, соседние точки как по горизонтали, так и по вертикали в изображении близки по цвету.

Большая избыточность изображений заставляет исследователей создавать и совершенствовать процедуры ее устранения – методы сжатия видеоданных.

Анализ исследований и публикаций

Объем видеоданных зависит от способа их представления. Как известно, растровые изображения представляются в виде двумерной матрицы значений, задающих цвет пикселя. Существует множество способов численного представления цветов. Система представления цветов называется цветовой моделью, или цветовым пространством [2-4].

Особенностью восприятия человеческим глазом и мозгом цветов является то, что видимый спектр разделяется на красную, синюю и зеленую составляющие. Поэтому изображение, выводимое на дисплей, формируется из красных, зеленых и синих элементов с различными уровнями свечения, что позволяет обойтись без дополнительной перекодировки при выдаче цифрового представления изображения на отображение. Данный способ представления видеоданных характерен для цветовой модели RGB (red, green, blue – красный, зеленый, синий).

Значения пикселей в модели RGB представляются 24-битными целыми положительными числами по 8 бит на каждую цветовую компоненту. Целочисленные значения компонентов могут находиться в диапазоне от 0 до $2^n - 1$, где n – разрядность дискретизации (в данном случае $n = 8$).

В большинстве случаев цветовая модель RGB не очень эффективна для представления фотореалисти-

ческих изображений. Все три RGB-компоненты должны иметь равную полосу пропускания, чтобы сгенерировать любой цвет. В результате этого изображение занимает не только значительный объем, но и требует сравнительно больших вычислительных ресурсов для работы с ним. Например, для изменения интенсивности или цвета данного пикселя, из буфера должны быть считаны все три значения компонент RGB-модели. После их вычисления новые рассчитанные значения записываются назад в буфер памяти. Увеличение скорости обработки изображений достигается при применении других цветковых пространств, состоящих из компонент, соответствующих интенсивности и цветности пикселя.

Среди множества цветковых моделей, таких, как HSB, CMYK, CIE XYZ и др., существуют цветковые модели, использование которых позволяет уменьшить объём данных. К ним относятся цветковые пространства YUV, YIQ, YCbCr, YDbDr. Некоторые из них находят применение в телевидении: YIQ – в системе NTSC, YUV – в системе PAL, YdbDr - в системе SECAM. Цветовая модель YCbCr используется в формате сжатия JPEG [2,4,5]. Данные цветковые модели могут быть получены из RGB-пространства с помощью таких устройств, как камеры и сканеры.

Цель работы

1. Выбор и усовершенствование методов целочисленного преобразования цветковых координат, свободных от недостатков рассмотренных моделей.

2. Оценка методов целочисленного преобразования цветковых координат.

Общий вид преобразования цветковой модели RGB в иную:

– прямое преобразование:

$$\begin{pmatrix} X(i, j) \\ Y(i, j) \\ Z(i, j) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} R(i, j) \\ G(i, j) \\ B(i, j) \end{pmatrix}; \quad (1)$$

– обратное преобразование:

$$\begin{pmatrix} R'(i, j) \\ G'(i, j) \\ B'(i, j) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{11}^{-1} & c_{12}^{-1} & c_{13}^{-1} \\ c_{21}^{-1} & c_{22}^{-1} & c_{23}^{-1} \\ c_{31}^{-1} & c_{32}^{-1} & c_{33}^{-1} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} X(i, j) \\ Y(i, j) \\ Z(i, j) \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где R, G, B – матрицы значений цветковых координат точек изображения в цветковой модели RGB;

X, Y, Z – матрицы значений цветковых координат точек изображения в новой цветковой модели;

C – матрица прямого преобразования;

C⁻¹ – матрица обратного преобразования.

Значения матриц прямого и обратного преобразования для перечисленных цветковых моделей приведены в табл. 1 [5,6].

Таблица 1

Матрицы преобразования цветковых компонент

	Матрица прямого преобразования			Матрица обратного преобразования		
	R	G	B	Y	I	Q
Y	0,299	0,587	0,114	1	0,956	0,621
I	0,596	-0,274	-0,322	1	-0,272	-0,647
Q	0,211	-0,523	0,312	1	-1,106	1,703
	R	G	B	Y	U	V
Y	0,299	0,587	0,114	1	-0,048	1,138
U	-0,147	-0,289	0,437	1	-0,37	-0,579
V	0,615	-0,518	-0,08	1	2,028	0
	R	G	B	Y	Db	Dr
Y	0,299	0,587	0,114	1	0	0,526
Db	1,332	-1,115	-0,217	1	-0,1295	-0,2681
Dr	-0,449	-0,881	1,329	1	0,667	0
	R	G	B	Y	Cb	Cr
Y	0,299	0,587	0,114	1	0	1,402
Cb	-0,169	-0,331	0,5	1	-0,34414	-0,71414
Cr	0,5	-0,419	-0,081	1	1,722	0

Из анализа табл. 1 следует, что значения цветковых компонент во всех цветковых моделях могут принимать как положительные, так и отрица-

тельные значения (потребуется один бит для представления знака), что вызовет увеличение разрядности двоичных слов, используемых для описания компонент. Но главный недостаток всех преобразований состоит в том, что они нецелочисленные. Это позволяет применять их только в методах сжатия видеоданных с потерями.

Целочисленное преобразование цветовой модели RGB может быть представлено следующим образом [7]:

– прямое преобразование:

$$Yz = \left\lfloor \frac{R + 2G + B}{4} \right\rfloor, Uz = R - G, Vz = B - G; \quad (3)$$

– обратное преобразование:

$$G = Yz - \left\lfloor \frac{Uz + Vz}{4} \right\rfloor, R = Uz + G, B = Vz + G, \quad (4)$$

где Yz, Uz, Vz – цветовые компоненты целочисленно преобразованной модели; $\lfloor \cdot \rfloor$ – операция нахождения целой части числа.

Для оценки влияния смены цветовой модели на эффективность методов сжатия видеоданных было рассчитано среднее значение энтропии компонент и пиковое соотношение сигнал/шум в восстановленных изображениях после преобразования. При этом исследованию были подвергнуты фотореалистические изображения с частотой цветового перепада 0,7 – 0,999. Для этого был сформирован тестовый пакет из 400 изображений.

Средняя энтропия цветовой компонент, бит/отсчет, определялась для источника с неравновероятными и взаимонезависимыми отсчетами:

$$H = - \sum_{i=1}^{255} p(x_i) \log_2 p(x_i), \quad (5)$$

где $p(x_i)$ – частота появления значения цветовой компоненты, равного x_i .

Значения средней энтропии приведены в табл. 2.

Пиковое соотношение сигнал/шум, дБ, в восстановленных изображениях (PSNR) вычислялось следующим образом:

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{255^2 \times n_i \times n_j}{\sum_{i=0}^{n_i-1} \sum_{j=0}^{n_j-1} (x_{i,j} - \bar{x}_{i,j})^2} \right), \quad (6)$$

где $x_{i,j}$ – значения элементов исходной матрицы изображения; $\bar{x}_{i,j}$ – значения элементов восстановленной после сжатия матрицы изображения; n_i – число столбцов в матрице изображения; n_j – число строк в матрице изображения.

Расчетные значения PSNR для всех исследуемых цветовой моделей представлены в табл. 2.

Таблица 2

Значения средней энтропии цветовой компонент исследуемых изображений и пикового соотношения сигнал/шум в восстановленных изображениях

Цветовая модель	Энтропия цветовой компонент, бит/отсчет	Пиковое соотношение сигнал/шум в восстановленных изображениях, дБ
RGB	6,524/6,32/6,177	-
YIQ	6,419/4,032/2,689	45,75
YCbCr	6,419/3,844/3,728	45,98
YDbDr	6,419/5,174/5,289	46,5
YUV	6,419/3,631/4,063	43,25
YzUzVz	6,37/4,767/4,692	$+\infty$
Y'zU'zV'z	6,349/4,767/4,692	$+\infty$

Результат вычисления энтропии цветовой компонент исследуемых цветовой моделей позволяет сделать вывод о том, что их значение меньше по сравнению с энтропией компонент модели RGB. Так, для цветовой компонент модели RGB и компоненты Y пространств YIQ, YUV, YDbDr и YCbCr энтропия составляет 6,5 бит/отсчет, для двух других компонент – 2,7-5,3 бит/отсчет.

Дальнейшие исследования цветовой моделей были направлены на уменьшение значения средней энтропии яркостной (Y) компоненты изображений. При изменении выражений (3) и (4) на (7) и (8) ее энтропия уменьшится на 3% (см. табл. 2).

Прямое преобразование в модифицированном виде:

$$Yz' = \left[\frac{R + 4G + B}{6} \right],$$

$$Uz' = Uz = R - G, \quad (7)$$

$$Vz' = Vz = B - G.$$

Обратное преобразование в модифицированном виде:

$$G = Yz' - \left[\frac{Uz' + Vz'}{6} \right],$$

$$R = Uz' + G, \quad (8)$$

$$B = Vz' + G.$$

Заключение

По результатам анализа цветовых пространств, позволяющих уменьшить объем видеоданных, необходимо отметить, что энтропия цветовых компонент Uz (Uz') и Vz (Vz') при целочисленном преобразовании цветовой модели RGB несколько больше, чем энтропия соответствующих компонент пространств YIQ, YUV, YCbCr. Однако отсутствие потерь при преобразовании ($PSNR=+\infty$) позволяет применять модели $YzUzVz$ и $Yz'Uz'Vz'$ для создания более эффективных методов сжатия видеоданных без потерь. Данные исследования являются перспективными, о чем свидетельствуют многочисленные разработки зарубежных специалистов в этой области.

Литература

1. Ватолин Д. С., Ратушняк А.И. Методы сжатия данных. – М.: Диалог-Мифи, 2002. – 384 с.
2. Прэтт У.К. Цифровая обработка изображений. – М.: Мир, 1982. – Кн. 2. – 480 с.
3. Ватолин Д.С. Алгоритмы сжатия изображений. – Лаборатория компьютерной графики Московского государственного университета: http://graphics.cs.msu.su/library/our_publications/fractal/index.htm.
4. Миано Д. Форматы и алгоритмы сжатия изображений в действии. – М.: Триумф, 2003. – 336 с.
5. Зубарев Ю.В., Дворкович В.П. Цифровая обработка телевизионных и компьютерных изображений. – М.: МЦНТИ, 1997. – 212 с.
6. Стрюк А.Ю., Бохан К.А. Цветовые модели в системах сжатия видеоданных // Радиоэлектроника и информатика. – Х.: Харьк. Академия железнодорожного транспорта. – 2002. – № 1(18). – С. 68.
7. Majid Rabbani, Rajan Joshi. An overview of the JPEG2000 still image compression standard // Eastman Kodak Company, Rochester, NY 14650, USA, Signal Processing: Image Communication 17 (2). – 2002. – P. 3–48.

Поступила в редакцию 16.01.04

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.С. Харченко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков