

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ ЦВЕТОВОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЦВЕТНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ ЕГО КОДИРОВАНИЯ

Сержантов А.В.

Московский энергетический институт (технический университет)

Основной задачей данной работы являлся поиск такого описания цветного изображения, которое обеспечивало бы максимальное качество сжатия изображения SPIHT-алгоритмом.

Вследствие чего были рассмотрены следующие цветовые схемы, являющиеся наиболее известными и распространенными на сегодняшний день – Index Color(Grayscale), RGB, CMYK, HSV, HLS, HSB, CIE Lab, CIE Luv, YUV, YCrCb, YIQ [1], [2]. Чтобы разобраться в том, какие из этих цветовых моделей отвечают требованиям SPIHT-алгоритма, необходимо описать их структуру и принципы формирования цвета.

Итак, приведем краткое описание данных цветовых систем.

Index Color, Grayscale.

Так называемая модель Index Color основана на принципе использования 8-битного цвета. Эта модель широко использовалась в первой половине 90-х, а сейчас она применяется, прежде всего, в Интернете. Она работает на основе создания палитры цветов. Все оттенки в файле делятся на 256 возможных вариантов, каждому из которых присваивается номер. Далее, на основе полученной палитры цветов, строится таблица, где каждому номеру ячейки приписывается цветовой оттенок в значениях RGB (красного, зеленого, синего).

К форматам файлов, использующим только индексированные палитры, относятся распространенный в прошлом на персональном компьютере формат программы Paint — PCX, а так же, не потерявший и в наши дни своей актуальности, GIF, который использует сравнительно богатый набор методов оптимизации изображения, позволяющих с достаточно большим качеством преобразовать цветное изображение в индексное.

Чрезвычайно широкое распространение индексированная палитра получила в Интернете по причине различного отображения цветов на разных типах компьютеров, мониторов и браузеров. Если браузер не способен правильно отобразить какой-то цвет, то он использует цвет-заменитель или смешивает два близлежащих цвета.

Цветовая модель Grayscale представляет собой ту же индексированную палитру, где вместо цвета пикселям назначена одна из 256 градаций серого.

RGB, CMY, CMYK.

В данной модели для описания цвета используется 24 бита, которые делятся на три группы по 8 бит (на три канала: красный, зеленый, синий). Всего получается около 16700000 комбинаций оттенков. Данная модель является избыточной, т.к. человек различает всего несколько десятков тысяч цветов, в то время как сама модель описывает свыше одного десятка миллиона цветов, поэтому данная модель не используется в алгоритмах сжатия изображений. Но зато данная цветовая система нашла свое применение в аппаратной реализации.

Система цветов RGB модели формируют множество аддитивных цветов (получаются благодаря восприятию нами излученного каким-либо источником света). Монитор компьютера (телевизор) создает цвет непосредственно излучением света и использует, таким образом, систему цветов RGB.

Система цветов CMY использует принцип формирования отраженного (субтрактивного) цвета и применяется в печатной индустрии (по сути дела она была создана для печати). Печатные краски не могут дать очень многих оттенков из-за химического состава, более того при смешении всех трех составляющих (голубой, пурпурный и желтый) красок не образуется чистый черный цвет, который является основным в печати. Поэтому к модели CMY был добавлен еще один канал черного цвета K, тем самым появилась возможность разделять цветную и черно-белую печать и кроме того расход цветных красок резко уменьшился.

HSV, HLS, HSB.

Вышеописанные системы цветовых моделей RGB и CMYK базируются на принципе смешения готовых цветов в различных соотношениях и получения этим путем полноценной цветовой палитры. Возникновение этих систем проистекает из ограничений используемого аппаратного обеспечения (мониторов и сканеров в случае с RGB и типографских красок в случае с CMYK). Кроме того, появление различного рода цветных моделей связано с исследованиями цветового зрения человека и его свойств, так RGB-модель была образована на основе наличия в глазу трех видов рецепторов, поглощающих энергию различных участков спектра (красного, зеленого и синего).

В цветовых моделях HSV, HLS, HSB [1] описание цвета базируется на интуитивном восприятии цвета человеком. Цвет описывается через тон, насыщенность и яркость. Отсюда и название цветовых моделей:

- HSB (англ. Hue, Saturation, Brightness — тон, насыщенность, яркость);
- HLS (англ. Hue, Lightness, Saturation — тон, освещенность, насыщенность);
- HSV (англ. Hue, Saturation, Value — тон, насыщенность, яркость);

Тон представляет собой конкретный оттенок цвета, отличный от других: красный, зеленый, голубой и т. п.

Насыщенность цвета характеризует его относительную интенсивность (или чистоту). Уменьшая насыщенность, например, красного, мы делаем его более пастельным, приближаем к серому.

Яркость (или освещенность) цвета показывает величину черного оттенка, добавленного к цвету, что делает его более темным.

Данные модели имеют перед другими системами важное преимущество: они больше соответствуют природе цвета, хорошо согласуются с моделью восприятия цвета человеком. Многие оттенки можно быстро и удобно получить в HSB, HSV, HLS, конвертировав затем в RGB. Используя данные модели, легко производить тоновую коррекцию изображения и коррекцию яркости.

CIE Lab, CIE Luv.

Данные цветовые системы наиболее близко подходят к модели формирования цвета в человеческом мозгу. На самом деле мозг не получает от глаза информацию о красном, зеленом и синем цветах спектра (см. исследования лауреатов Нобелевской премии 1981г. за вклад в изучение зрения — Дэвида Хьюбела и Торстена Вайзела). Мозг получает от глаза информацию трех порядков:

- Информация о разнице светлого и темного;
- Информация о разнице зеленого и красного;
- Информация о разнице синего и желтого, где желтый — это сумма зеленого и красного.

Цветовое пространство Lab представляет цвет в трех каналах: один канал выделен для значений яркости (L - Lightnes) и два других — для цветовой информации (a и b). Цветовые каналы соответствуют шкале, а не какому-нибудь одному цвету. Канал a представляет непрерывный спектр от зеленого к красному, в то время как канал b - от синего к желтому. Средние значения для a и b соответствуют реальным оттенкам серого.

Из вышесказанного видно насколько близка такая схема к схеме воспроизведения цвета в пространстве Lab (пространство Luv схоже с Lab, но имеет несколько отличную схему образования цветовых каналов).

Достоинством, и как следствие основной областью применения, данных моделей является то, что в этих моделях очень легко выполнять многие распространенные операции по обработке цветных изображений. В их числе повышение резкости, тоновая коррекция (повышение контраста, исправление погрешности тоновых диапазонов) и удаление цветного шума (в том числе размывка раstra (при сканировании) и удаление регулярной структуры изображений в формате JPEG).

YUV, YCrCb, YIQ.

Цветовая модель YUV (система PAL) [2] заслуживает внимания из-за своего использования в цветном телевидении. Является аппаратной ориентированной моделью, а способ описание цвета резко отличается от способа восприятия цвета человеком. Она представляет собой некоторый вариант кодирования цветов RGB, осуществляемого с целью повышения эффективности их передачи в эфир, а также для обеспечения совместимости с черно-белым телевидением. Канал Y в модели YUV представляет собой яркость, подобранную так, что она соответствует кривой спектральной чувствительности глаза. Канал Y цветного телевизионного видеосигнала отображается на экране черно-белого телевизора как интенсивность (яркость) света. Каналы U, V – цветоразностные каналы, несущие в себе информацию о цвете.

Данная модель (и две последующие) имеет хорошую локализацию энергии сигнала в яркостном канале и оптимально применима к раздельному кодированию. Яркостной канал Y кодируют с меньшими потерями, а цветовые каналы с большими, тем самым, решая проблему выбора между качеством и степенью сжатия.

При формировании полного цветового сигнала во всех системах цветного телевидения используются сигнал яркости (E_Y) и два цветоразностных сигнала (E_{R-Y} и E_{B-Y}):

$$E_Y = 0,299 E_R + 0,587 E_G + 0,114 E_B \quad \text{где } E_R, E_G, E_B - \text{значения интенсивностей } R, G, B \text{ каналов соответственно.}$$

$$E_{R-Y} = E_R - E_Y$$

$$E_{B-Y} = E_B - E_Y$$

Но в системе используются не непосредственно цветоразностные сигналы, а их линейная комбинация:

$$E_U = 0,493 E_{B-Y}$$

где E_U, E_V - интенсивности U, V каналов соответственно.

$$E_V = 0,877 E_{R-Y}$$

В матричной форме преобразование можно записать так:

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,299 & 0,587 & 0,114 \\ -0,147 & -0,289 & 0,437 \\ 0,615 & -0,515 & -0,1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

YCbCr-модель имеет те же достоинства, что и YUV-модель. Применяется в различных стеганографических алгоритмах встраивания информации в изображения, а также алгоритмах сжатия изображений. Яркостной канал у данной модели образуется аналогично яркостному каналу YUV-модели,

цветовые канала Cr (хроматический красный) и Cb (хроматический синий) также задают цветность изображения но описываются по-другому:

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,299 & 0,587 & 0,114 \\ 0,5 & -0,4187 & -0,0813 \\ 0,1687 & -0,3313 & 0,5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix}$$

YIQ-модель, методика построения ее описания и основные свойства схожи с YUV-моделью. Отметим лишь особенности в преобразовании:

$$E_Y = 0,299 E_R + 0,587 E_G + 0,114 E_B$$

$$E_I = -0,27 E_{B-Y} + 0,74 E_{R-Y}$$

$$E_Q = 0,41 E_{B-Y} + 0,48 E_{R-Y}$$

где E_I, E_Q - интенсивности цветоразностных каналов I, Q соответственно.

В матричной форме преобразование выглядит следующим образом:

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,299 & 0,587 & 0,114 \\ 0,596 & -0,274 & -0,322 \\ 0,211 & -0,522 & 0,311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Необходимо отметить свойства матриц преобразований. Сумма коэффициентов яркостного канала равняется единице, а цветоразностных нулю (в YCrCb – 128 масштабируется по середине интервала изменения интенсивностей каналов RGB-модели). Таким образом, при черно-белом изображении (значения интенсивностей каналов RGB-модели равны) мы получаем цветоразностные каналы с нулевой энергией, а яркостной канал градуируется 256 оттенками серого.

Итак, изучив все модели, мы пришли к выводу, что использование моделей Index Color, RGB, CMYK для описания цветного изображения перед сжатием SPIHT-алгоритмом не является оптимальным выбором из-за их свойств.

HSB, HSV, HLS, Lab, Luv модели не имеют равномерное распределение энергии сигнала по всем каналам (как в RGB, CMYK), а наоборот яркостной канал сигнализирует о возможной локализации сигнала, но однако, проведя сравнительные тесты было получено, что качество сжатия изображений, описанных данными моделями, на 4-5dB (по критерию PSNR [3]) ниже чем качество при описании изображений YIQ, YUV, YCbCr моделями (см. таблицу №1). Ниже приведен пример для одного изображения и для битрейта равным 0.01.

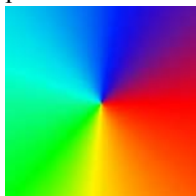


Таблица №1. Сравнение результатов представления изображения различными моделями.

Цветовые модели	HSV, HSB, HLS	Lab, Luv	YUV	YIQ	YCbCr
PSNR, dB	19.8	18.5	23.3	23.6	22.9

Рис. 1

Далее были проведены тесты на сравнение трех моделей YIQ, YUV, YCrCb. В результате YIQ модель оказалась лучшей для описания цветных изображений перед их кодированием SPIHT-алгоритмом.

После полученной оптимальной цветовой системы из имеющихся на сегодняшний день, возникла идея найти такую новую модель (модификацию YIQ-модели), которая обеспечивала бы лучшее качество при сжатии изображения.

Была сделана попытка в поиске новых коэффициентов для цветовых каналов с сохранением яркостных коэффициентов и свойства матрицы преобразования (сумма яркостных коэффициентов равна единице, а сумма цветовых коэффициентов - нулю) YIQ-модели. Таким образом, мы получили четыре неизвестных параметра (A, B, C, D) по которым будет осуществляться поиск:

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,299 & 0,587 & 0,114 \\ A & B & -A - B \\ C & D & -C - D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

В результате были получены две тройки новых коэффициентов, при которых качество кодирования увеличилось на 1dB по критерию PSNR. Результаты приведены в таблице №2.

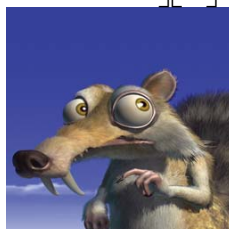
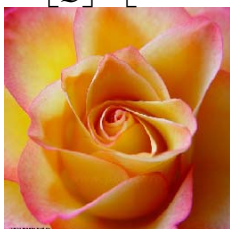


Рис. 2

Рис.3

Таблица №2. Сравнение качества сжатия YIQ-модели и новых полученных моделей.

Литература

- [1]. I.Pitas DIGITAL IMAGE PROCESSING ALGORITHMS AND APPLICATIONS, 2000г., p. 1-38
- [2]. Ю.Б.Зубарев, В.П.Дворкович Цифровая обработка телевизионных и компьютерных изображений, Москва, 1997, стр. 1-33, 55-58
- [3]. SVEN OLE AASE Image subband coding artifacts: analysis and remedies, March 1993, p. 1-30



Битрейт		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
Рис. 3 (PSNR, dB)	YIQ	25.26	27.87	29.56	30.62	31.65	32.51	33.08
	New1	25.76	28.66	30.14	31.56	32.36	33.07	33.72
	New2	25.77	28.65	30.18	31.55	32.34	33.06	33.72
Рис. 2 (PSNR, dB)	YIQ	23.64	26.09	27.55	28.56	29.40	30.04	30.56
	New1	24.23	26.77	28.43	29.53	30.33	31.12	31.74
	New2	24.20	26.74	28.42	29.50	30.30	31.09	31.72