

Откуда берется формула
 $Y = 0.3R + 0.59G + 0.11B$ для преобразования
из цветного RGB-изображения в черно-белое
(монохромное)?

Алексей Игнатенко

7 февраля 2010 г.

Любое цветовое пространство RGB должно быть связано с эталонным цветовым пространством CIE XYZ [4]. Для CIE XYZ известно соответствие между значением коэффициентов (x, y, z) пикселя и фактическим значением яркости эталонных источников света, смещением которых добиваются получения нужного воспринимаемого цвета. Для каждого RGB-изображения явно или неявно такое преобразование в XYZ должно быть определено, иначе оно может быть корректно показано только на том мониторе, на котором создавалось. Назовем такую информацию цветовым профилем изображения [2, 6]. Если такой профиль есть у монитора, то путем преобразования $RGB_{image} \rightarrow XYZ_{image}$ и затем преобразования $XYZ_{image} \rightarrow RGB_{display}$ монитора можно получить на другом мониторе цвета, соответствующие исходным (с учетом ограниченной цветопередачи).

В системе XYZ координата Y по определению соответствует воспринимаемой яркости цвета (Luminance [9]). Таким образом, чтобы получить из RGB монохромное изображение с учетом воспринимаемых человеком яркостей, необходимо преобразовать каждый пиксель в XYZ и взять координату Y в качестве результата. Известно, что преобразование между любыми аддитивными цветовыми системами линейное (в силу линейности восприятия цвета человеком [7]), а, значит, может быть описано матрицей $M_{3 \times 3}$, такой, что

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = M \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

Коэффициенты $(0.3, 0.59, 0.11)$ — это округленная до второго знака строчка из матрицы преобразования M_{NTSC} из системы NTSC RGB (стандарт для американского телевидения) в XYZ, а “типичная” формула

$$Y = 0.3R + 0.59G + 0.11B \tag{1}$$

вычисляет воспринимаемую яркость Y для изображения, закодированного в NTSC RGB. Полная матрица преобразования выглядит так[1]:

$$M_{NTSC} = \begin{pmatrix} 0.6068909 & 0.1735011 & 0.2003480 \\ 0.2989164 & 0.5865990 & 0.1144845 \\ 0.0000000 & 0.0660957 & 1.1162243 \end{pmatrix}$$

Большинство цифровых изображений на данный момент соответствуют стандарту sRGB [3, 5], разработанному для компьютерных мониторов, поэтому типичная формула неверна!

Более корректным будет преобразование для sRGB (см. матрицу M_{sRGB} в [1]): $Y = 0.21R + 0.72G + 0.07B$. Но наиболее правильным будет использование профиля изображения, если он доступен.

Необходимо обратить внимание, что RGB-изображения имеют нелинейную кодировку яркости, так называемую гамма-коррекцию [8] $C_{gamma} = C_{linear}^{1/\gamma}$, где γ является также частью профиля изображения (для sRGB можно считать гамму равной 2.2, хотя на практике функция несколько сложнее [3, 5]). А преобразование в черно-белое необходимо проводить в линейном пространстве, поэтому перед преобразованием надо выполнить гамма-преобразование, обратное гамма-коррекции $C_{linear} = C_{gamma}^\gamma$. Таким образом, корректное преобразование из цветного sRGB-изображения в монохромное выглядит так (цвета изображения лежат в диапазоне [0, 255]):

$$\begin{aligned} Y &= 255 (0.21r + 0.72g + 0.07b)^{1/2.2} \\ r &= (R/255)^{2.2} \\ g &= (G/255)^{2.2} \\ b &= (B/255)^{2.2} \end{aligned} \tag{2}$$

Как видно из рисунка 1, разница между преобразованиями (1) и (2) имеется и она может быть существенной для требовательных приложений.

Ссылки

- [1] http://www.brucelindbloom.com/index.html?Eqn_RGB_XYZ_Matrix.html
- [2] <http://www.color.org>
- [3] <http://www.w3.org/Graphics/Color/sRGB.html>
- [4] http://en.wikipedia.org/wiki/CIE_1931_color_space
- [5] <http://en.wikipedia.org/wiki/SRGB>
- [6] http://en.wikipedia.org/wiki/ICC_profile
- [7] http://en.wikipedia.org/wiki/Grassmann%27s_law_%28optics%29

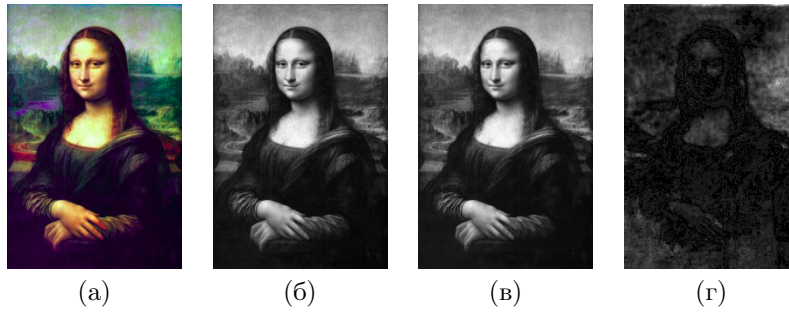


Рис. 1: Пример преобразование цветного в черно-белое изображение. (а) Исходное изображение (б) “Типичное” неверное преобразование (в) sRGB-преобразование (г) Линейная разница (x15)

[8] http://en.wikipedia.org/wiki/Gamma_correction

[9] http://en.wikipedia.org/wiki/Luminance_%28relative%29