

УДК 535.6.08 (004.932)

ТЕХНОЛОГИЯ МАСШТАБИРОВАНИЯ И ЛИНЕАРИЗАЦИИ ДИНАМИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА ЦИФРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Савкова Е.Н., Прилуцкий И.В.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Предложена технология масштабирования и линеаризации динамического диапазона цифрового изображения, позволяющая определять цвет объектов по их цифровым изображениям. Технология основана на построении и сопряжении градуировочных зависимостей по аттестованным опорным образцам, регистрируемым одновременно с объектом при различном времени экспозиции. Данная технология позволяет решить проблему ограниченности цветовых охватов передающих технических устройств и выполнять колориметрические измерения в программно-аппаратных средах.

Ключевые слова: цифровое изображение, цвет, градуировочная зависимость, масштабирование.

DYNAMIC RANGE SCALING AND LINEARIZATION TECHNOLOGY OF A DIGITAL IMAGE

Saukova Y., Prylutski I.

*Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus*

Abstract. The technology of scaling and linearization of the dynamic range of a digital image is proposed, which allows determining the colour of objects from their digital images. The technology is based on the construction and coupling of calibration dependencies based on certified reference samples recorded simultaneously with the object at different exposure times. This technology allows solving the problem of limited colour coverage of transmitting technical devices and performing colorimetric measurements in hardware and software environments.

Key words: digital image, colour, calibration dependence, scaling.

*Адрес для переписки: Савкова Е.Н., пр. Независимости, 65, г. Минск, 220113, Республика Беларусь
e-mail: savkova@bntu.by*

Большинство подходов ITU, ICC к описанию цвета цифрового изображения, стремясь решить проблему ограниченности цветовых охватов передающих устройств, опирается на визуальное восприятие и пиковую яркость монитора, и потому являются нелинейными, что затрудняет выполнение измерений. Предлагаемый экспресс-метод измерения цвета основан на численном моделировании условной многомерной колориметрической шкалы и заключается в создании наборов аттестованных опорных образцов – неточечных излучателей, относящихся к определенному сектору цветовой палитры, образующих при цифровой регистрации с пошагово увеличивающимся временем экспозиции векторы в цветовом пространстве XYZ, берущих начало из нулевой точки отсчета пространства и пересекающих плоскость цветового локуса графика цветностей, формируя на ней геометрическое место точек цветности, позволяющий обеспечить условие единства измерений. Расширение динамического диапазона осуществляется благодаря многократной цифровой регистрации с пошагово увеличивающимся временем экспозиции, построению характеристических и градуировочных зависимостей на основе полученных цифровых изображений с последующим масштабированием.

Чтобы найти точку N_x , находящуюся за пределами максимума необходимо продлить линию OR по касательной. Длина приращения достроенной линии к точке равна:

$$M = B - R. \quad (1)$$

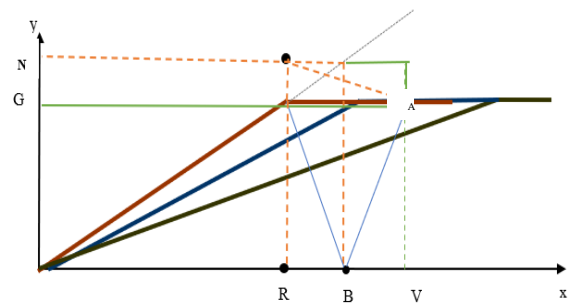


Рисунок 1 – Графическая иллюстрация масштабирования и линеаризации передаточной характеристики

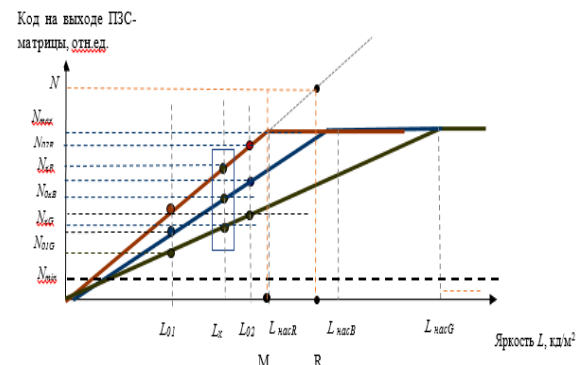


Рисунок 2 – Характеристические зависимости интенсивности цвета изображения от яркости опорных образцов

Таким образом, расстояние до точки N равно Q . Расстояние от точки N до максимума можно найти по теореме Пифагора:

$$G = \sqrt{J^2 + Q^2}. \quad (2)$$

Для нахождения расстояния до точки G , необходимо продлить линию M от N_x на длину X_1 и опустить ее конец к точке G :

$$X_1 = M. \quad (3)$$

Общая длина линии от точки N равна:

$$T = M + X_1. \quad (4)$$

Расстояние от точки N_x до G равно:

$$l_1 = \sqrt{T^2 + y_1^2} \quad (5)$$

Длина $GA = AG$, далее достраивая линию до точки B получаем равнобедренный треугольник.

По теореме Пифагора:

$$G'B = \sqrt{y_2^2 + 2}. \quad (6)$$

Таким образом, $G'B = GB$.

Так, для, если имеются два снимка объекта, выполненные с различными экспозициями $H_1 = E_1 \Delta t_1$ и $H_2 = E_2 \Delta t_2$, то зная связь $H_2 = kH_1$, для расчета неизвестного значения освещенности E_2 (яркости) справедливо выражение:

$$E_2 = k \frac{E_1 \Delta t_1}{\Delta t_2}. \quad (7)$$

Для каждой характеристической зависимости по трем цветовым каналам рассчитываются масштабные коэффициенты преобразования K_{12} , K_{23} :

$$K_{12} = \frac{N_2}{N_1}; K_{12} = \frac{N_3}{N_2}. \quad (8)$$

При этом $N_1 = N_1(L) = K_{12}L$; $N_2 = N_2(L) = K_{23}L$.

Для определения яркости контрольной точки объекта, находящегося в пределах $L_{нас2} \leq L \leq L_{нас3}$, осуществляется сопряжение зависимостей:

$$\begin{cases} N_1 & L < L_{нас} \\ L = N_2 \cdot K_{12} & L_{нас1} < L < L_{нас1} \\ N_3 \cdot K_{12} & L_{нас1} < L < L_{нас1}. \end{cases} \quad (9)$$

Относительные погрешности определяются по формулам:

$$\frac{\Delta L_1}{L_1} = \frac{\Delta L_1}{L_1}, \quad (10)$$

$$\frac{\Delta L_2}{L_2} = \frac{\Delta N_2 \cdot K_{12}}{N_2 \cdot K_{12}}, \quad (11)$$

$$\frac{\Delta L_3}{L_3} = \frac{\Delta N_3 \cdot K_{12} \cdot K_{23}}{N_3 \cdot K_{12} \cdot K_{23}}. \quad (12)$$

Так как величина $\Delta N_i/N_i$ одинакова во всех диапазонах, то и относительная погрешность $\Delta L_i/L_i$ также не изменяется. Для одной и той же точки на объекте: $H_1 = L \Delta t_1$; $H_2 = L \Delta t_2$. Тогда:

$$E = \frac{H_1}{\Delta t_1} = \frac{H_2}{\Delta t_2}. \quad (13)$$

Далее для каждой последовательной пары источников одной линейки зависимости сопрягаются, например, для одного времени экспозиции. При переходе к изображению со временем экспозиции $t_{m-1} < t_m$ может наблюдаться в свою очередь смещение интенсивности в зеленом канале G в область шумов. На рисунке 1 показаны характеристические зависимости для пары образцов с яркостью L_{01} и L_{02} и интенсивностью ($N_{01R}, N_{01G}, N_{01B}$) и ($N_{02R}, N_{02G}, N_{02B}$) соответственно, динамический диапазон которых ограничивается областями шумов и насыщения (точки $N_{мин}$ и $N_{макс}$, $L_{насR}$, $L_{насG}$, $L_{насB}$). Набор координат цвета (R_x, G_x, B_x) с кодами (N_{xR}, N_{xG}, N_{xB}), соответствующие искомому значению яркости, выделены прямоугольником. При которой координаты цвета исследуемой области цифрового изображения определяют из градуировочных графиков по формулам:

$$R_x = \frac{R_{02} - R_{01}}{N_{0R2} - N_{0R1}} N_{Rx}, \quad (14)$$

$$G_x = \frac{G_{02} - G_{01}}{N_{0G2} - N_{0G1}} N_{Gx}, \quad (15)$$

$$B_x = \frac{B_{02} - B_{01}}{N_{0B2} - N_{0B1}} N_{Bx}, \quad (16)$$

где $R_{01}, R_{02}, G_{01}, G_{02}, B_{01}, B_{02}$ – аттестованные значения координат цвета, «первого» и «второго» опорных образцов в цветовом пространстве RGB; $N_{0R1}, N_{0R2}, N_{0G1}, N_{0G2}, N_{0B1}, N_{0B2}$ – значения усредненной интенсивности цвета соответствующих участков цифрового изображения «первого» и «второго» опорных образцов в рабочем цветовом пространстве, отн. ед.:

$$N = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_i, \quad (17)$$

где N_i – интенсивность i -го пикселя цифрового изображения, отн. ед.; N_{Rx}, N_{Gx}, N_{Bx} – значения интенсивности цвета искомой точки в координатах рабочего цветового пространства.

Метод позволяет «отстроиться» от устройства отображения и субъективного фактора, определяя координаты цветности с помощью линейной аппроксимации с заданным уровнем достоверности.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Национальной академии наук Беларуси и Министерства Образования Республики Беларусь (код проекта ГБ 21-07/6).

Литература

1. Серегина, В.И. Начертательная геометрия / Б.Г. Жирных, В.И. Серегин, Ю.Э. Шарикян; под общ. ред. В.И. Серёгина. – М. : Изображение прямой линии, 2015. – 27 с.
2. Математическая статистика / Т.И. Чепелёва [и др.] // Точечные оценки неизвестных параметров распределения. – 2022. – С. 31–35.