

КОЛОРИМЕТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОЙ РЕГИСТРАЦИИ С ВЫСОКИМ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

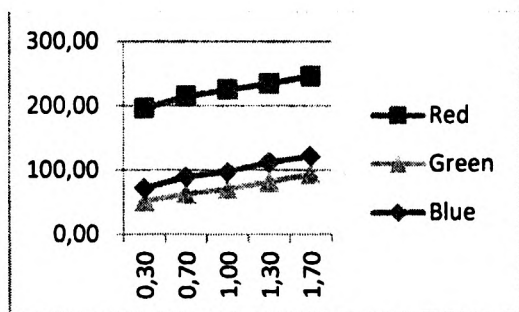
Зуйков И.Е., Савкова Е.Н.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

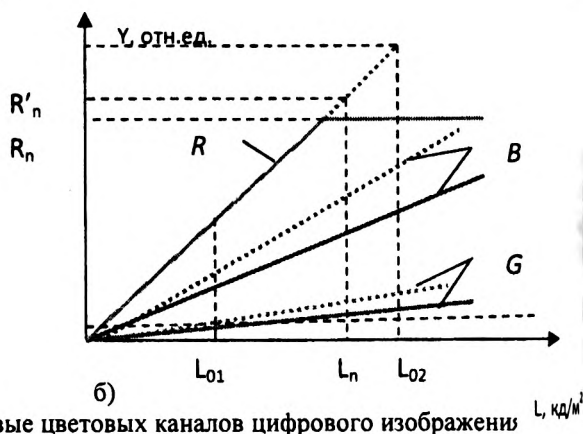
При решении измерительных задач, связанных с определением яркостных и цветовых характеристик объектов на основе обработки их цифровых изображений, возникают трудности, обусловленные объективными ограничениями цветовых охватов и динамических диапазонов передающих устройств, а также формированием соответствующей номинальной ступени квантования в цветовых каналах как результата нормировки цифрового изображения по самой яркой точке. Данные трудности преодолены путем корректного применения доступных аппаратных и программных средств согласно предложенному авторами методу измерений. Метод основан на цифровой регистрации объекта с различными значениями времени экспозиции и обработке полученных цифровых изображений, в результате которой осуществляется трансформация цветовых пространств RGB→XYZ с использованием специально вводимых расширяющих коэффициентов, что позволит с заданным уровнем достоверности определять исследуемые цветовые характеристики.

Метрологическая прослеживаемость результатов измерений обеспечивается путем ссылки на исходные образцы – так называемые линейки равнорядных излучателей, неточечных источников света, выступающих в качестве мер при измерениях. Каждая линейка формируется по принципу принадлежности спектрального состава излучения конкретному сектору выбран-

ной стандартизованной цветовой палитры (ненасыщенные цвета), данные о которой хранятся в индексных таблицах поддерживающего программного обеспечения. Авторами предлагается разделять палитру на шесть секторов по принципу превалирования удельных весов цветовых координат (перечисленных по убыванию интенсивности в цветовых каналах цифрового изображения): 1) RGB; 2) RBG; 3) GRB; 4) GBR; 5) BRG; 6) BGR, что позволит уже на начальном этапе уменьшить зону методической составляющей неопределенности. В пределах каждой линейки источники света должны различаться по яркости с шагом, зависящим от конкретной измерительной задачи. Таким образом, для каждого источника – исходного образца, может быть получено семейство калибровочных кривых, показывающих зависимости значений интенсивности (ось ординат) цветовых каналов от времени экспозиции (ось абсцисс) – $R(t)$, $G(t)$, $B(t)$, пример которых приведен на рисунке 1а. Далее для каждой последовательной пары источников одной линейки зависимости сопрягаются, например, для одного времени экспозиции и трех цветовых каналов или для одного цветового канала и различных значений t_m (рисунок 1б). На рисунке по оси ординат сплошными линиями отложены значения интенсивностей R , G , B для времени экспозиции t_m .



а)



б)

Рисунок 1 – Калибровочные кривые цветовых каналов цифрового изображения

Точки L_{01} и L_{02} соответствуют яркости двух источников – исходных образцов, точка L_n – яркость исследуемой контрольной точки объекта.

Расширение динамического диапазона измерений. Как видно из рисунка 1б, в красном

канале интенсивность R_n находится в области насыщения, что обусловлено ограничением динамических диапазонов цифровой камеры и устройства отображения и, следовательно, делает невозможным получение достоверной в

мерительной информации. 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. Поэтому, исходя из принципа линейности передаточной характеристики матричного фотоприемника, можно найти на оси ординат условную точку R'_n , находящуюся за пределами динамического диапазона, и по ней осуществить нормировку интенсивностей R, G, B, адаптируя их к новым значениям, вводя соответствующие расширяющие коэффициенты непосредственно в стандартизованную модель трансформации цветовых пространств RGB→XYZ [1]:

$$\begin{aligned} X &= \frac{a_{11}}{k_R} R + \frac{a_{12}}{k_G} G + \frac{a_{13}}{k_B} B \\ Y &= \frac{a_{21}}{k_R} R + \frac{a_{22}}{k_G} G + \frac{a_{23}}{k_B} B \\ Z &= \frac{a_{31}}{k_R} R + \frac{a_{32}}{k_G} G + \frac{a_{33}}{k_B} B, \end{aligned} \quad (1)$$

где X, Y, Z - координаты цвета пространства XYZ;

a_{nm} - стандартизованные удельные весовые коэффициенты интенсивностей R, G, B;

k_R, k_G, k_B - расширяющие коэффициенты, рассчитываемые по формулам:

$$k_R = \frac{R'}{255}; k_G = \frac{G}{255}; k_B = \frac{B}{255} \quad (2)$$

В знаменателях приведено наибольшее значение интенсивности цифрового изображения (в данном случае - 255 градаций интенсивности). На рисунке 1 б пунктирными линиями показаны новые, трансформированные линии интенсивности в цветовых каналах B и G.

Расчеты координат цветности производятся по формулам [1]:

$$x = \frac{x}{x+y+z}; y = \frac{y}{x+y+z}; z = \frac{z}{x+y+z} \quad (3)$$

При этом экспериментально установлено, что триады координат цвета одной и той же контрольной точки объекта на изображениях, выполненных с различными выдержками, с заданным уровнем достоверности соответствуют одной и той же цветности. Также установлено, что наибольшая дисперсия значений интенсивности наблюдается в синем канале. Усредненная дисперсия определения координат цветности составила примерно от 2,8 до 3,1 единиц.

Достоверное определение координат цвета реального регистрируемого объекта зависит от значений номинальных ступеней квантования, воспроизводимых условными шкалами цифрового изображения, которые в трехмерных цветовых пространствах представляют собой эллипсоиды различных объемов, а минимальная (дефинициальная) неопределенность определяется эллипсами Мак-Адама. Однако в пространстве RGB удается поддерживать в каждом цве-

товом канале постоянное значение номинальной ступени квантования путем «приращений» интенсивности математическими методами. Определение цветовых характеристик самосветящихся объектов, а также введение поправочных коэффициентов для вторичных излучателей можно осуществлять путем применения моделей хроматической адаптации Фон-Криза, CIECAM02, Фершильда и др. [2]. При этом координаты цвета определяются в вертикальном разрезе пространства XYZ по координате Z путем нормировки интенсивности по исходным образцам.

Выводы. Методология колориметрических измерений с высоким разрешением позволяет отстроиться от зрительных феноменов и эффектов субъективной колориметрии и основана на следующих положениях.

1. Каждому реальному регистрируемому объекту соответствует бесконечное множество виртуальных реализаций, зависящих от аппаратного и программного обеспечения и параметров регистрации, и таким образом приходится иметь дело с многомерными измерениями.

2. За базовую величину в расчетах целесообразно принимать яркость, воспроизводимую мерами - исходными образцами равноярких первичных излучателей, сходных по спектральному составу, но различающихся по интенсивности, которые используются в качестве опорных реперных точек при построении условных шкал в цветовых каналах цифрового изображения.

3. Результаты измерений необходимо рассматривать в едином контексте стандартизованного цветового пространства XYZ, выходящего за пределы цветовых охватов воспроизводящих устройств, с возможности трансформации в другие пространства в зависимости от измерительных задач.

4. Учитывая принципы высшей колориметрии, можно предполагать наличие специфических эффектов и зависимостей, свойственных цифровым изображениям, что предполагает проведение дальнейших исследований.

1. Мешков, В.В. Основы светотехники. Учеб. пособие для вузов: В 2-х частях. Ч. 2. Физиологическая оптика и колориметрия. - 2-е изд., перераб. и доп. / В.В. Мешков, А.Б. Матвеев - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 432 с.
2. Marc D. Fairchild. Color Appearance models. Second edition. Munsell Color Science Laboratory Rochester Institute Technology, USA. - 2004. - 439 p.