

УДК 535.6

РАСШИРЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА ДВУМЕРНЫХ КОЛОРИМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Зуйков И.Е., Савкова Е.Н.

Белорусский национальный технический университет,
г.Минск, Беларусь, eva911@tut.by

АННОТАЦИЯ

Предложен способ расширения диапазона двумерных колориметрических измерений, основанный на многократной цифровой регистрации объектов и источников опорного излучения при различных выдержках, позволяющий определять фотометрические и цветовые характеристики объектов путем обработки их цифровых изображений.

В современной колориметрии получают развитие новые методы измерений, основанные на применении оптических систем с высоким разрешением и средств вычислительной техники. Для относительно простых случаев – при одномерных измерениях статических величин, оператор определяет значения параметров последовательно в каждой контрольной точке объекта, имея при этом возможность переключения диапазонов чувствительных приборов, что позволяет регистрировать фотометрические и колориметрические величины, отличающиеся на несколько порядков. Однако когда возникает необходимость выполнения двумерных измерений в режиме, близком к реальному времени, измерительная задача существенно усложняется тем, что диапазон измерений ограничивается динамическим диапазоном фотоприемного устройства, в результате чего происходит потеря данных о деталях объекта, находящихся в областях насыщения и шумов. Поэтому актуальной является задача разработки метода, позволяющего с достаточной для практики точностью определять фотометрические и колориметрические параметры объекта, значения которых выходят за пределы рабочей области. Предложенный способ расширения диапазона двумерных колориметрических измерений основан на применении доступных аппаратных и программных средств и заключается в том, что объект регистрируют с различными выдержками, осуществляют обработку серии цифровых изображений, путем расчетов определяя значения фотометрических и колориметрических параметров, находящихся за пределами рабочей области фотоприемного устройства.

Методологические основы преобразования пространств в системах управления цветом. В соответствии с ГОСТ 13088 «цвет есть аффинная векторная величина трех измерений, выражающая свойство, общее всем спектральным составам излучения, визуально неразличимым в колориметрических условиях наблюдения» [1]. Измерение цвета заключается в определении его координат в некоторой стандартной цветовой системе - трехмерной модели (пространства), позволяющей дать его геометрическую интерпретацию и оценить качественные и количественные характеристики [2]. Разработанные МКО аппаратно независимые цветовые пространства XYZ (1931 г.) и L^*a^*b (1974 г.) спроектированы таким образом, чтобы наиболее точно

отражать восприятие цвета зрительным анализатором. Математические преобразования $RGB \rightarrow Lab$ осуществляются по формулам [3]:

$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.3811 & 0.5783 & 0.0402 \\ 0.1967 & 1.7244 & 0.0782 \\ 0.2410 & 0.1288 & 0.8444 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}; \begin{bmatrix} L \\ a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.5774 & 0 & 0 \\ 0 & 0.4082 & 0 \\ 0 & 0 & 0.7071 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -2 \\ 1 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lg L \\ \lg M \\ \lg S \end{bmatrix} \quad (1)$$

В системе XYZ за основные приняты «нереальные» цвета, а координата Y характеризует яркость наблюдаемого объекта, т. к. кривая сложения \bar{y} совпадает с функцией относительной спектральной световой эффективности стандартного наблюдателя МКО для дневного зрения [4]. Данная система получена из RGB путем преобразований [5]:

$$\begin{aligned} X &= 0,4184R - 0,0912G + 0,0009B \\ Y &= -0,1587R + 0,2524G - 0,0025B \\ Z &= -0,828R + 0,0157G + 0,1786B \end{aligned} \quad (2)$$

Основными факторами, влияющими на формирование воспринимаемого цвета, являются спектральные характеристики источника света, окружающей среды, приемника излучения. Таким образом, результирующее значение цвета, описываемое посредством цветовых координат в различных математических моделях, представляет собой сверточную операцию спектральных распределений перечисленных составляющих, одновременно являющихся также источниками неопределенности.

Технология формирования цветных изображений. Номинальная функция преобразования матричного фотоприемника в рабочей области имеет линейный вид (рисунок 2) [6].

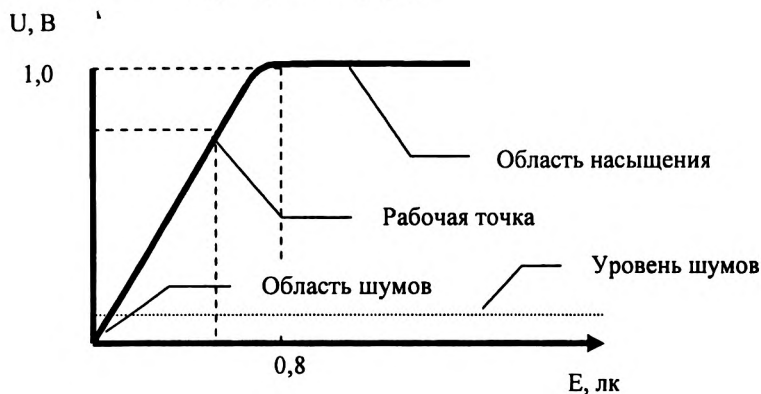


Рисунок 1 - Световая характеристика чувствительности ПЗС-сенсора

Из световой характеристики следует, что матричные фотоприемные устройства обеспечивают работу в весьма ограниченном диапазоне естественные же освещенности изменяются в очень широких пределах: от 0,005 до 100000 лк [6]. Кроме того, для получения цветного изображения используют красные, синие и зеленые фильтры, с определенной точностью повторяющие вид кривых спектральной чувствительности фотоприемников зрительного анализатора.

Качество воспроизведения цвета будет зависеть от ширины динамического диапазона матричного фотоприемника. На рисунке 3 представлены характеристические зависимости матрицы ПЗС фотоприемного

устройства, соответствующие изображениям, выполненным при различном времени экспозиции ($t_1 < t_2 < t_3$) для зеленого канала.

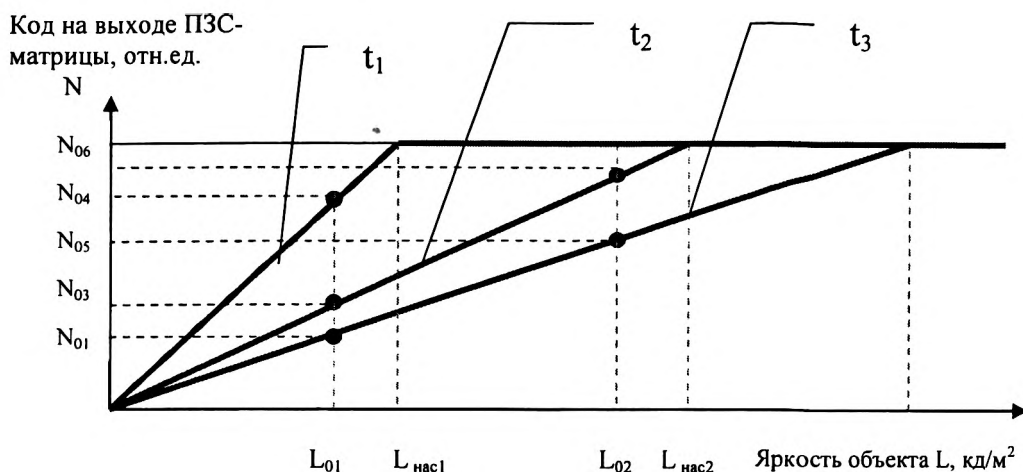


Рисунок 2 - Характеристическая зависимость изображений, выполненных при различных выдержках ($t_1 < t_2 < t_3$)

Точки L_{01} и L_{01} соответствуют значениям яркости объекта, которые заранее известны. Для красного и синего каналов вид зависимости будет аналогичным, но положение точек сместится. Для обеспечения работоспособности систем технического зрения используют аппаратные и программные средства изменения чувствительности. Работа аппаратных средств (например, автоматического регулятора усиления) направлена на нормирование уровня сигнала на выходе фотоприемного устройства в целях обеспечения при воспроизведении на мониторе изображения нормированной яркости, позволяющего оператору качественно выполнять поставленные задачи [6]. Программные средства, описанные в [6], позволяют добиться более тщательной проработки деталей объекта в области, близкой к насыщению, за счет применения процедур гамма-коррекции, линейного и нелинейного сжатия. Однако данные методы лишь субъективно улучшают воспроизведение изображений и не обеспечивают требуемой точности и достоверности воспроизведения фотометрических и колориметрических характеристик. Задача может быть решена путем расширения динамического диапазона двумерных измерений. Разработанный авторами метод применительно к фотометрическим величинам (яркости, освещенности, силе света) был изложен в [7]. В данной работе рассмотрена возможность его использования при двумерных колориметрических измерениях.

Измерительная задача и реализация метода. Пусть необходимо выполнить двумерные колориметрические измерения в различных точках поверхности протяженного двумерного освещаемого объекта, для чего его поверхность регистрируется матричным фотоприемным устройством. Полученное цифровое изображение представляет собой конечное множество отсчетов яркости по трем цветовым каналам в пространстве RGB ($sRGB$), имеющих геометрическую привязку. Воспроизведение значений яркости по полю объекта может значительно превосходить динамический диапазон матрицы ПЗС фотоприемника. Для реализации метода в работе предлагается использовать цифровую камеру профессионального или полупрофессионального

класса и магазин однозначных мер, составленный из источников опорного излучения. Источники опорного излучения должны быть равнояркими излучателями, экранированные матовым стеклом и располагаться в темновых зонах регистрируемой сцены. Сущность метода заключается в том, что производят серию цифровых снимков объекта и источников опорного излучения с различными выдержками из одной точки пространства. При обработке полученных изображений определяют яркостные и цветовые характеристики определенных групп пикселей, используя выражения (1, 2), затем осуществляя пересчет выходных сигналов ПЗС-матрицы в световые единицы [8]. Из рисунка 2 видно, что линии на графике отличаются масштабными коэффициентами преобразования K_1 , K_2 и K_3 . Для каждой кривой справедливы зависимости:

$$N_1 = N_1(L) = K_1 L; \quad N_2 = N_2(L) = K_2 L; \quad N_3 = N_3(L) = K_3 L.$$

Для расчета яркости объекта, находящейся в пределах $L_{нас2} \leq L \leq L_{нас3}$, предлагается осуществить сопряжение полученных зависимостей:

$$L = \begin{cases} N_1, & \text{при } L < L_{нас1} \\ N_2 \cdot K_{12}, & \text{при } L_{нас1} < L < \\ N_3 \cdot K_{12} \cdot K_{23}, & \end{cases} \quad (3)$$

Масштабные коэффициенты находятся из соотношений:

$$K_{12} = \frac{N_2}{N_1}; \quad K_{23} = \frac{N_3}{N_2} \dots \quad (4)$$

Относительные погрешности определяются как:

$$\frac{\Delta L_1}{L_1} = \frac{\Delta N_1}{N_1}; \quad \frac{\Delta L_2}{L_2} = \frac{\Delta N_2 \cdot K_{12}}{N_2 \cdot K_{12}}; \quad \frac{\Delta L_3}{L_3} = \frac{\Delta N_3 \cdot K_{12} \cdot K_{23}}{N_3 \cdot K_{12} \cdot K_{23}} \dots \quad (5)$$

Так как величина $\Delta N_i/N_i$ одинакова во всех трех диапазонах, то и относительная погрешность $\Delta L_i/L_i$ также не изменяется. Таким образом, рассчитывая масштабные коэффициенты и осуществляя сопряжение характеристических зависимостей, можно расширять динамический диапазон матричного фотоприемника и определять воспроизводимые фотометрические и колориметрические характеристики объектов по их цифровым изображениям. Графически данный метод иллюстрирует рисунок 3. При расчетах освещенности на объекте необходимо учитывать свойства его поверхности (коэффициент отражения) и параметры съемки. Расчетное значение яркости для каждого канала в контрольной точке объекта представляет собой функцию

$$L_{R(G, B)} = f(L_0, L_i, N_0, N_i, \rho, K, k, \alpha_\lambda), \quad (6)$$

где L_0, L_i – яркость источника-стандарта и яркость в i -той точке объекта;

N_0, N_i – выходные сигналы матрицы ПЗС, соответствующие яркости источника-стандарта и яркости в i -той точке объекта;

ρ – коэффициент отражения в i -той точке объекта;

K – коэффициент масштабирования, рассчитанный по формуле (2),

k – коэффициент учитывающий параметры съемки (5);

α_λ – параметр, учитывающие спектральные свойства объекта, условий и передающих устройств.

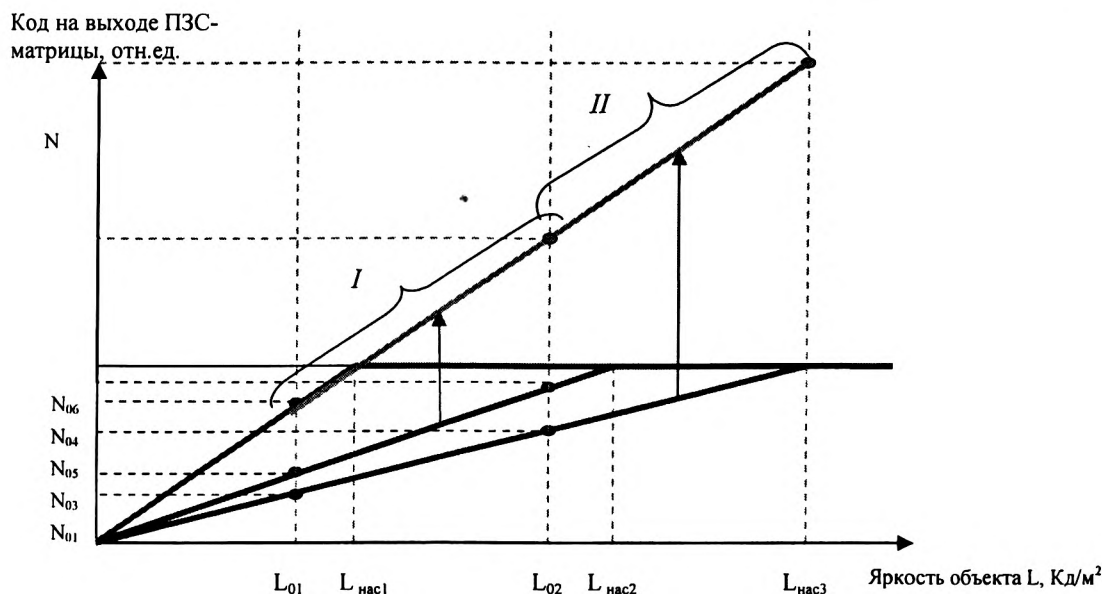


Рисунок 3 - Расширение динамического диапазона регистрируемой яркости изображений, выполненных при различных выдержках ($t_1 < t_2 < t_3$)

Вывод. В работе предложен новый подход к проведению двумерных колориметрических измерений с использованием технологий цифровой регистрации, заключающийся в расширении динамического диапазона матричного фотоприемного устройства программными средствами. Разработанный метод позволяет одновременно определять яркость и координаты цветности в контрольных точках протяженных объектов посредством фиксации серии изображений при различных выдержках и цифровой обработки.

Список литературы

1. ГОСТ 13088-67. Колориметрия. Термины, буквенные обозначения. – М.: Издательство стандартов. 1967. 12 с.
2. Красильников, Н.Н. Теория передачи и восприятия изображений. Теория передачи изображений и ее приложения. – М.: Радио и связь, 1986. -248 с.
3. Щербаков, С. Управление цветом для цифровой камеры. Профили для цифровых камер. Пакет XLProfiler. Оpubл. 31.03.06. Режим доступа: sherbakovs@ixbt.com.
4. СТБ ISO 7724-1-2008 Краски и лаки. Колориметрия. Часть 1. Основные положения.
5. Линч, Р. Использование Adobe Photoshop 6. Специальное издание: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. -880 с.
6. Уорд П. Работа с цифровыми видеокameraми: уроки операторского мастерства: Пер.с англ. / П.Уорд.-М.: Мир, 2001. -301 с.
7. Зуйков, И.Е. Савкова, Е.Н. Метод расширения динамического диапазона матричного фотоприемного устройства. Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – М. 2008. №3. с.45-48.
8. Зуйков, И.Е. Савкова, Е.Н. Математическая модель калибровки цифровой камеры при фотометрических испытаниях светового оборудования транспортных средств. Минск: БНТУ. Сборник материалов 61-й Научно-технической конференции, посвященной 85 летию БНТУ, с.37-45.