

УДК 535.65.083.6

DOI: 10.34670/AR.2024.88.21.067

Экономические аспекты реализации методов определения цвета многоцветного объекта с относительно большими габаритами

Кузьменко Александр Александрович

Кандидат технических наук,
Самарский государственный технический университет,
443100, Российская Федерация, Самара, ул. Молодогвардейская, 244, к 8;
e-mail: Alexandr291294@mail.ru

Мачихин Вячеслав Андреевич

Кандидат технических наук,
Самарский государственный технический университет,
443100, Российская Федерация, Самара, ул. Молодогвардейская, 244, к 8;
e-mail: vmachihin@mail.ru

Аннотация

Измерение цветности многоцветных объектов в настоящее время имеет большую роль в различных отраслях деятельности человечества. Для измерения используются специальные приборы – колориметры. Данные приборы измеряют цвет исследуемого объекта в определённой точке, при этом выбор метода измерения не оказывает на данное обстоятельство никакого значительного влияния, в связи с чем при измерении объектов, имеющих относительно большие габариты, практически не представляется возможным. В статье изложен метод измерения цвета многоцветного объекта, который обладает относительно большими габаритами, к примеру, автомобиль, цветная фотография, художественная картина и др. Рассматриваемый метод можно использовать в таких областях народного хозяйства, как например, перекраска автомобиля после повреждения неких участков кузова с повреждением лакокрасочного покрытия, автоматического контроля и видеонаблюдения участков лесных массивов и торфяных угодий для обнаружения пожаров, в экспертизе подлинности документов и художественных произведений искусства и другие области народного хозяйства.

Для цитирования в научных исследованиях

Кузьменко А.А., Мачихин В.А. Экономические аспекты реализации методов определения цвета многоцветного объекта с относительно большими габаритами // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2024. Том 14. № 11А. С. 612-619. DOI: 10.34670/AR.2024.88.21.067

Ключевые слова

Экран монитора компьютера; компьютерная колориметрия; координаты цветности; основные цвета; треугольник цветового охвата экрана.

Введение

К настоящему времени в колориметрии используются два направления техники измерения цвета. Первое направление, является наиболее простым, но в тоже время, к сожалению, менее точным. В данном направлении измерение координат цвета и цветности осуществляется с использованием прибора, в котором сквозные спектральные характеристики свет-сигнал совпадают с кривыми сложения цветов, что накладывает определённые требования к данному совпадению, т.к. от точности данного совпадения сильно зависит погрешность измерения цвета данным прибором и как следствие точность определения координат цветности также зависят от данного совпадения.

Основное содержание

Под погрешностью измерения цвета и цветности в статье принимается разброс результатов многократных измерений одного и того же источника излучения или отражения, что обуславливается тем, что в настоящее время не существует эталонов цветов и как следствие об абсолютной точности измерения говорить не приходится. Для чего для измерения цвета и цветности МКО ввело такое понятие как стандартный наблюдатель, который может различать два цвета, координаты, цветности которых могут отличаться не более 0,0038 на цветовой диаграмме МКО 1960 (u, v), или 0,0057 в МКО 1931(x, y), что соответствует одному порогу цветоразличения по Мак Адаму [Mac Adam? 1943].

Исходя из этого и других литературных источников повторяемость многократных измерений координат цветности обычным трехцветным колориметром составляет не хуже 0,05 по x и y , что соответствует менее 10 порогов Мак Адама. Как ясно из приведённых данных данная погрешность измерения цвета является чрезмерно высокой и не является подходящей для необходимых нам измерений.

Другим направлением измерения цвета является спектральный метод измерения цвета или в некоторых источниках косвенная колориметрия. Данный метод для измерения цвета объекта использует спектральный прибор – спектрограф. В данном приборе исследуемое излучение разлагается в спектр по длинам волн и с помощью фотопреобразователя оптический сигнал преобразуется с электрический, по величине которого измеряется весь спектр оптического сигнала с определённым шагом по длинам волн. Погрешность измерений с использованием данного метода зависит от погрешности градуировки шага измерения, а также от линейность динамической характеристики «свет – сигнал» и другие параметры.

Измерение цвета с использованием данного метода является процессом длительным и трудоёмким, в связи с чем данный метод не всегда является удобным для применения. При этом с использованием данного метода была достигнута повторяемость измерений координат цветности порядка 0,001 по x и y , что составляет менее 0,2 порога Мак Адама [Ложкин, 1977].

Для ускорения процесса измерения ординат спектра в качестве фотоприемника в настоящее время стали применять линейки ПЗС (прибор с зарядовой связью), которую устанавливают в место выходной щели спектрального прибора, что значительно уменьшает время измерения всего оптического спектра. Но проблема измерения не самосветящиеся (отраженного) излучения остается (уменьшается отношение сигнал/шум).

От этого недостатка свободен метод, который был назван компьютерная колориметрия.

Суть этого метода заключается в предварительном фотографировании объекта с помощью хорошей цветной, цифровой фотокамерой. Полученный электронный снимок объекта передается в компьютер. Если объект расположен на листе бумаги, то можно обойти процесс фотографирования, а сразу сканировать и передать как рисунок в компьютер. С помощью специального программы мощно произвести «измерение» координат цвета и цветности, причем в любой, на выбор колориметрической системе. Конечно, и в этой системе измерений есть факторы, влияющие на точность (повторяемость) результатов измерений.

Многие исследователи при осуществлении спектральных измерений не учитывают спектральную характеристику чувствительности фотопреобразователя спектрального прибора, которая представляет собой криволинейную функцию от длины волны. В данной криволинейной функции в большинстве случаев «красный» диапазон характеристики «поднят» по отношению к «синей» и «зеленой» областей оптического спектра, что вызывает сдвиг измеренных и рассчитанных координат цвета и цветности в «желто-красную» область цветового локуса.

Для решения данной проблемы необходимо проделать некоторые шаги для компенсации данного сдвига:

- 1) Измерить с помощью спектрального прибора оптический спектр излучения абсолютно-черного тела, разогретого до определенной температуры. В качестве практического абсолютно-черного тела используют стандартный источник «А» имеющий температуру нити накаливания 2854° С. При этом питание источника осуществляется стабилизированным напряжением величиной определяемой паспортными данными источника «А».
- 2) Вычислить по формуле Планка [Ложкин, 1977] значения интенсивности излучения абсолютно-черного тела для значений длин волн, при которых производилось измерения источника «А».
- 3) Поправочный коэффициент, который скорректирует спектральную характеристику фотоприемника спектрального прибора определяется как отношение вычисленного значения излучения по формуле Планка [Ложкин, 1977] к измеренному спектру стандартного источника «А». Далее вычисленный поправочный коэффициент применяется как множитель во всех спектральных измерениях любых излучений.

При использовании спектрального метода измерения координат цвета измерение цвета крупногабаритного объекта является не возможным, при этом накладывается ещё одно ограничение, а именно при измерении координат цвета несамосветящихся объектов (субтрактивный синтез цвета) значительно теряется чувствительность метода, что приводит к понижению отношения сигнал/шум, а значит и уменьшается стабильность результатов многократных измерений.

Измеренные спектры пересчитывается как правило, в стандартную колориметрическую систему МКО 1931 г. (XYZ). Это вызвано тем, что большую доступность получили кривые сложения $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$.

При измерении цвета важной задачей является выбор стандартной колориметрической системы, т.к. после измерения оптического спектра используется формула (1) для получения координат цвета:

$$\begin{aligned}
 X &= \int_{380}^{780} J(\lambda) \cdot k(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) d\lambda; \\
 Y &= \int_{380}^{780} J(\lambda) \cdot k(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) d\lambda; \\
 Z &= \int_{380}^{780} J(\lambda) \cdot k(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) d\lambda.
 \end{aligned} \tag{1}$$

где $J(\lambda)$ – ординаты измеренного оптического спектра по длинам волн λ ;
 $k(\lambda)$ – корректирующий коэффициент;
 $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$ – кривые сложения МКО 1931 г. (XYZ).

На практике при вычислении координат цвета X, Y и Z по формуле (1) интеграл заменяется суммой. Согласно (1), координаты цвета являются линейными функциями относительно измеренных ординат спектра, а координаты цветности, выражаемые (2) уже выражаются нелинейной функцией.

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{X}{X + Y + Z}; \\
 y &= \frac{Y}{X + Y + Z}; \\
 z &= \frac{Z}{X + Y + Z}
 \end{aligned} \tag{2}$$

Рассмотрим еще две колориметрические системы МКО, которые также получили широкое распространение. К этим системам можно отнести равноконтрастную систему МКО 1960 г. (u, v, w), координаты цветности в которой выражаются выражениями (3):

$$\begin{aligned}
 u &= \frac{4X}{X + 15Y + 3Z} = \frac{2x}{6y - x + 1,5}; \\
 v &= \frac{6Y}{X + 15Y + 2Z} = \frac{3y}{6y - x + 1,5}.
 \end{aligned} \tag{3}$$

Как видно из (4), координаты цветности u и v определяются координат МКО 1931 г. (XYZ) и являются не линейной функцией от этих координат. Координата w определяется из $1 = u + v + w$.

Наиболее распространённой колориметрической системой в настоящее время является колориметрическая система МКО 1976 г. (Lab). Координаты цвета для этой системы определяются по выражениям (4).

$$\begin{aligned}
 L^* &= 116 \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_0}} - 16; \\
 a^* &= 500 \left(\sqrt[3]{\frac{X}{X_0}} - \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_0}} \right); \\
 b^* &= 200 \left(\sqrt[3]{\frac{Y}{Y_0}} - \sqrt[3]{\frac{Z}{Z_0}} \right).
 \end{aligned} \tag{4}$$

где L^* – яркость (в пределах от 0 до 100):

a^* и b^* – координаты цвета;

X_0, Y_0, Z_0 – координаты цвета опорного белого (обычно стандартный источник D6500).

Как видно из (5) нелинейность координат цвета в данной системе выражена ярче, но помимо

этого данная колориметрическая система не является непрерывной функцией, а имеет точки разрыва, которые определяются следующими ограничениями:

$$\text{Если } X/X_0 \leq \varepsilon, \text{ то } \sqrt[3]{\frac{X}{X_0}} = \frac{k \left(\frac{X}{X_0} \right) + 16}{116}$$

$$\text{Если } Y/Y_0 \leq \varepsilon, \text{ то } \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_0}} = \frac{k \left(\frac{Y}{Y_0} \right) + 16}{116}$$

$$\text{Если } Z/Z_0 \leq \varepsilon, \text{ то } \sqrt[3]{\frac{Z}{Z_0}} = \frac{k \left(\frac{Z}{Z_0} \right) + 16}{116}$$

где $\varepsilon = 216/24389$ и $k = 24389/27$.

Система Lab предназначена для субтрактивного синтеза цвета, что ясно видно из наличия опорного источника белого цвета, с координатами X_0 , Y_0 и Z_0 .

В заключение хотелось бы отметить следующее. Как показано на рис. 1, колориметрическая система МКО 1931 г. (RGB) и система МКО 1931 г. (XYZ) воспроизводят цветное изображение очень близко к тому, как его видит человек, что обусловлено использованием в этих системах кривых сложения в прямом их виде, то есть кривых, не преобразованных математически при расчёте координат цветности.

На рисунке 2 представлено сравнение кривых сложения цветов для стандартного глаза (МКО, рис. 2а), системы МКО RGB (рис. 2б) и системы МКО XYZ. В отличие от МКО RGB и МКО XYZ, другие системы, такие как HSV, YUV и LAB, используют кривые сложения, подвергнутые нелинейным преобразованиям (формулы (3) и (4)). На рисунке 2 также приведено изображение в оттенках серого (GRAY), которое воспринимается и воспроизводится очень хорошо.

Для компьютерной обработки изображений необходимо определить цвет каждого пикселя. Эта задача решается с помощью "компьютерной колориметрии", которая позволяет получить цветовые данные не только с экрана монитора, но и непосредственно из видеосигнала, формирующего изображение. Это исключает искажения, вносимые монитором, и ускоряет обработку.

Компьютерная колориметрия реализуется программным путем. Суть метода заключается в определении значений красного (R), зеленого (G) и синего (B) сигналов для каждого пикселя изображения, заданного координатами (x, y). Это легко реализуется с помощью различных языков программирования.

Одним из примеров программных комплексов, используемых для компьютерной колориметрии, является комплекс, описанный в работе. Алгоритм работы программы представлен на рис. 3. Программа сканирует каждый пиксель изображения, начиная с координат (0, 0) и заканчивая максимальными значениями x и y. Для каждого пикселя определяется цвет. Например, в языке программирования Python цвет пикселя с координатами (i, j) определяется процедурой, показанной на рис. 1.

```
Dim col1 As Color = GetColor(PictureBox1, i, j)
ER = col1.R
EG = col1.G
EB = col1.B
```

Рисунок 1 - Процедура определения значений R, G и B сигнала от изображения с геометрическими координатами i, j

Эту же процедуру можно использовать для видеосигнала, который формирует изображение в блоке PictureBox1, и как уже было сказано выше, в этом случае отпадает ошибка определения сигналов R, G, B, связанная с искажениями самого экрана монитора.

Отсюда следует, что практическая реализация метода компьютерной колориметрии заключается в алгоритме и математическом обосновании.

Методы пороговой сегментации изображения по яркости известны и достаточно хорошо разработаны [Николаев, 2008].

Важно отметить, что метод, который мы рассматриваем, изначально использует субтрактивный синтез цвета, но в процессе измерения цвета переходит к аддитивному синтезу. Это ограничение сужает область применения колориметрических систем, однако, оно актуально для конкретных задач, решаемых методами компьютерной колориметрии. Например, при определении цветового различия между цветами, необходимо использовать исходную колориметрическую систему RGB или пересчитать ее в систему XYZ (рис. 1). Наконец, разработка конечной программы для задач компьютерной колориметрии зависит от конкретной задачи. Следовательно, интерфейс программы будет зависеть от ее назначения.

Заключение

В заключении можно сделать следующие выводы. С экономической точки зрения предлагаемый метод имеет полную повторяемость при многократном определении координат цвета и цветности, чего нет у других методов. Данный метод можно отнести к цифровой колориметрии. Простота и скорость определения цветовых координат, причем в любой колориметрической системе (а можно и во всех известных системах) не представляет сложности.

Библиография

1. Mac Adam, D.L. Visual sensitivities to color differences./D.L. Mac Adam/Josa. – 1943. –Vol. 33. – № 18
2. Ложкин, Л.Д. Автоматическое устройство измерения спектров излучения для цветного ТВ.[Текст]/Л.Д. Ложкин, Ч.Г. Постарнак, Г.А. Суворов, Н.М. Мазур// Техника кино и телевидения. – 1977. – № 8. –С.41-43.
3. Способ преобразования цветового пространства: пат. 2494461 РФ, МПК J06K 9/68 / Л.Д. Ложкин, В.А. Неганов; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики". – №2011128504/08; заявл. 08.07.2011; опубл. 27.09.2013, бюл. №27. – 20с.
4. Lozhkin, L.D. Color-discrimination thresholds and differential geometry./L.D. Lozhkin//Journal of Optical Technology– Feb. 1, 2012. – vol. 79. – Iss. 2. – P. 75-81.
5. Ложкин, Л. Д. Цвет, его измерение, воспроизведение и восприятие в цветном телевидении. / Л. Д. Ложкин. – М.: URSS, 2018 г. – 480 с.
6. Ложкин, Л.Д. Вопросы спектрального измерения цветности. // Л. Д. Ложкин, Г. А. Суворов / Техника кино и телевидения. – 1979. – № 3. – с. 35-39
7. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ. № 2019660040. Определение возраста штриха шариковой ручки. /Ложкин Л.Д., Вороной А. А., Кузьменко А. А.; заявитель и правообладатель Ложкин Л.Д., Вороной А. А., Кузьменко А. А.– № 2019616109 ; заявл. 28.05.2019 г. опубл. 30.07. 2019

8. Николаев, П.П. Спектральные модели цветовой контрастности: правила отбора.// П.П. Николаев, С.М. Карпенко, Д.П.Николаев / Труды ИСА РАН. – 2008. – Т. 38. – с. 322-335.
9. Гонсалес Р. Вудс. Цифровая обработка изображений // М.: Техносфера, 2012. -1104с.
10. Чочина, П.А. Сегментация изображений на основе анализа расстояний в пространстве признаков. // П.А. Чочина / Автометрия. – 2014. –Т. 50. – № 6. – с. 97-110.
11. Баринова, О.В.Возможность цветового анализа красящих веществ при производстве технико-криминалистической экспертизы документов. // О.В. Баринова, И.Г. Пальчикова / Судебная экспертиза. – Волгоград: Волгоградская академия МВД России. – 2017. – Т 52. – № 4. – с. 75-82.
12. Луизов, А.В.Цвет и свет. / А.В. Луизов – Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 256 с.
13. Пальчикова, И.Г. Интервальная оценка параметров цвета из цифровых изображений. // И.Г. Пальчикова, Е.С. Смирнов/ Компьютерная оптика. – 2017. – Т. 41. – № 1. – С. 95- 102.

Methods for determining the color of a multicolored object with relatively large dimensions

Aleksandr A. Kuz'menko

PhD in Technical Sciences,
Samara State Technical University,
443100, 244, Bld 8, Molodogvardeyskaya str., Samara, Russian Federation;
e-mail: Alexandr291294@mail.ru

Vyacheslav A. Machikhin

PhD in Technical Sciences,
Samara State Technical University,
443100, 244, Bld 8, Molodogvardeyskaya str., Samara, Russian Federation;
e-mail: vmachihin@mail.ru

Abstract

The measurement of the chromaticity of multicolored objects currently plays an important role in various fields of human activity. Special colorimeters are used for measurement. These devices measure the color of the object under study at a certain point, while the choice of measurement method does not have any significant effect on this circumstance, and therefore it is practically impossible to measure objects with relatively large dimensions. The article describes a method for measuring the color of a multicolored object that has relatively large dimensions, for example, a car, a color photograph, an art painting, etc. The considered method can be used in such areas of the national economy as, for example, repainting a car after damage to certain sections of the body with damage to the paintwork, automatic monitoring and video surveillance of forest areas and peat lands to detect fires, in the examination of the authenticity of documents and works of art and other areas of the national economy.

For citation

Kuz'menko A.A., Machikhin V.A. (2024) Ekonomicheskie aspekty realizatsii metodov opredeleniya tsveta mnogotsvetnogo ob"ekta s otnositel'no bol'shimi gabaritami [Methods for determining the color of a multicolored object with relatively large dimensions]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economics: Yesterday, Today and Tomorrow], 14 (11A), pp. 612-619. DOI: 10.34670/AR.2024.88.21.067

Keywords

Computer monitor screen; computer colorimetry; chromaticity coordinates; primary colors; triangle of screen color gamut.

References

1. Mac Adam D.L. Visual sensitivities to color differences. *Josa*, Vol. 33, № 18, 1943.
2. Lozhkin L. D., Pasternack C. G., Suvorov G. A., Mazur N. M., Avtomaticheskoe ustrojstvo izmereniya spektrov izlucheniya dlya cvetnogo TV. No. 8, 1977, pp. 41-43.
3. Lozhkin L.D., Neganov V.A. Sposob preobrazovaniya cvetovogo prostranstva. 2013, 20 p.
4. Lozhkin L.D. Color-discrimination thresholds and differential geometry. *Journal of Optical Technology*, vol. 79, Iss. 2, Feb. 1, 2012, pp. 75-81.
5. Lozhkin L. D. Cvet, ego izmerenie, vosproizvedenie i vospriyatie v cvetnom televidenii. Moscow, URSS, 2018, 480 p.
6. Lozhkin L. D., Suvorov G.A. Voprosy spektralnogo izmereniya cvetnosti. *Tekhnika kino i televideniya*, № 3, 1979, pp. 35–39.
7. Lozhkin L. D., Voronoi A.A., Kuzmenko A.A. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programm dlya EVM. № 2019660040. Opredelenie vozrasta shtriha sharikovoj ruchki. 2019.
8. Nikolaev P.P., Karpenko S.M., Nikolaev D.P. Spektral'nye modeli cvetovoj kontrastnosti: pravila otbora. *Trudy ISA RAN*, vol. 38, 2008, pp. 322–335.
9. Gonsales R. Vuds. Cifrovaya obrabotka izobrazhenij. Moscow, Tekhnosfera, 2012, 1104 p.
10. Chochina P.A. Segmentaciya izobrazhenij na osnove analiza rasstoyanij v prostranstve priznakov. *Avtometriya*, vol. 50, № 6, 2014, pp. 97-110.
11. Barinova O.V., Pal'chikova I.G. Vozmozhnost' cvetovogo analiza krasnyashchih veshchestv pri proizvodstve tekhniko-kriminalisticheskoy ekspertizy dokumentov. *Sudebnaya ekspertiza, Volgograd, Volgogradskaya akademiya MIARussia*, vol. 52, №4, 2017, pp. 75-82.
12. Luizov A.V. Cvet i svet. Leningrad, Energoatomizdat, 1989, 256 p.
13. Pal'chikova I.G., Smirnov E.S. Interval'naya ocenka parametrov cveta iz cifrovih izobrazhenij. *Komp'yuternaya optika*, vol. 41, №1, 2017, pp. 95–102.