

## Определение цвета многоцветного объекта, имеющего относительно большие габариты

Л.Д. Ложкин<sup>1</sup>, А.А. Вороной<sup>1</sup>, А.А. Солдатов<sup>1</sup>, А.А. Кузьменко<sup>1</sup>,  
Л.Н. Филимонова<sup>1</sup>, М.Ю. Понаморев<sup>1</sup>, И.В. Андропова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики  
443010, Россия, г. Самара,  
ул. Л. Толстого, 23

<sup>2</sup> Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева  
443086, Россия, г. Самара,  
Московское шоссе, 34

*Аннотация* – Использование стандартных приборов (колориметров) при измерении координат цвета и цветности многоцветных объектов, имеющих относительно большие габариты, практически невозможно. Это связано с тем, что обычные колориметры, неважно, какой метод в них реализован, созданы для определения цвета определенной точки измеряемого объекта. В данной статье рассматривается метод определения цвета многоцветного и сравнительно большого размера объекта, например автомобиля, цветной фотографии, художественной картины и др. Назовем данный метод компьютерной колориметрией. Практическое решение данного метода можно использовать в таких областях народного хозяйства, как, например, перекраска автомобиля после повреждения неких участков кузова с повреждением лакокрасочного покрытия, автоматический контроль и видеонаблюдение участков лесных массивов и торфяных угодий для обнаружения пожаров, экспертиза подлинности документов и художественных произведений искусства и др.

*Ключевые слова* – экран монитора компьютера, компьютерная колориметрия, координаты цветности, основные цвета, треугольник цветового охвата экрана.

### Введение

В настоящее время существуют в основном два направления в области колориметрии, т. е. в области техники измерения цвета. Первое направление наиболее простое, но в то же время, к сожалению, менее точное. Этим направлением колориметрии является метод измерения координат цвета и цветности, которое производится прибором, где сквозные спектральные характеристики «свет – сигнал» совпадают с кривыми сложения цветов, от точности этого совпадения и зависит погрешность измерения координат цвета и, как следствие, координат цветности.

Остановимся на погрешности измерения. Дело в том, что в настоящее время не существует эталонов цветов, поэтому об абсолютной точности измерения речи быть не может. В МКО (Международный комитет по освещению) введено понятие «стандартный наблюдатель», который может различать два цвета, координаты, цветности которых могут отличаться не более чем на 0,0038 на цветовой диаграмме МКО 1960 ( $u$ ,  $v$ ) или 0,0057 в МКО 1931 ( $x$ ,  $y$ ), что составляет один порог цветоразличения по МакАдаму [1]. Это очень малая величина.

В соответствии с этим под погрешностью измерения координат цветности будем считать раз-

брос результатов многократных измерений одного и того же источника излучения (отражения). Согласно литературным данным, повторяемость результатов многократных измерения координат цветности обычным трехцветным колориметром составляет не менее 0,05 по  $x$  и  $y$ , т. е. немного меньше 10 порогов МакАдама, что весьма много для нужных нам измерений.

Вторым направлением в вопросах колориметрии является спектральный метод (иногда в литературе его называют косвенной колориметрией). Суть этого метода заключается в следующем. С помощью спектрального прибора (спектрографа) исследуемое излучение разлагается в спектр по длинам волн, и с помощью фотопреобразователя (фотоумножителя или любого чувствительного элемента), оптический сигнал преобразовывается в электрический. Измеряя величину электрического сигнала (ордината спектра), можно измерить весь спектр с определенным шагом по длинам волн. На погрешность измерения спектра здесь будет влиять погрешность градуировки по длинам волн, линейность динамической характеристики «свет – сигнал» и другие параметры. Безусловно, этот процесс длительный и трудоемкий, поэтому не всегда удобен в применении. В свое вре-

мя (1975–1976 гг.) была достигнута повторяемость измерений координат цветности порядка 0,001 по  $x$  и  $y$ , что составляет менее 0,2 порога МакАдама [2]. Для ускорения процесса измерения ординат спектра в качестве фотоприемника в настоящее время стали применять линейки ПЗС (прибор с зарядовой связью), которую устанавливают вместо выходной щели спектрального прибора, что значительно уменьшает время измерения всего оптического спектра. Но проблема измерения несамосветящегося (отраженного) излучения остается (уменьшается отношение сигнал/шум).

От этого недостатка свободен метод, который был назван компьютерной колориметрией. Суть этого метода заключается в предварительном фотографировании объекта с помощью хорошей цветной цифровой фотокамеры. 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 специальной программы можно 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. Далее мы более подробно рассмотрим вопросы компьютерной колориметрии.

### 1. Некоторые важные сведения из теории колориметрии

Как показывает практика, многие исследователи при проведении спектральных измерений не учитывают спектральную характеристику чувствительности фотопреобразователя спектрального прибора. Она, конечно, не определяется прямой линией, параллельной оси длин волн, эта характеристика является некой криволинейной функцией и, как правило, «красный» диапазон этой характеристики «поднят» по отношению к «синей» и «зеленой» областям оптического спектра. Как следствие, измеренные и рассчитанные координаты цвета и цветности будут сдвинуты в сторону «желто-красную» области цветового локуса, что является грубейшей ошибкой спектральных измерений.

Для устранения данной ошибки необходимо сделать следующее.

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 [2] значения интенсивности излучения абсолютно черного тела для значений длин волн, при которых производились измерения источника «А».

3. Поправочный коэффициент, который скорректирует спектральную характеристику фотоприемника спектрального прибора, определяется как отношение вычисленного значения излучения по формуле Планка [2] к измеренному спектру стандартного источника «А». Далее вычисленный поправочный коэффициент применяется как множитель во всех спектральных измерениях любых излучений.

Как уже упоминалось, спектральным методом измерения координат цвета, а значит, и цветности в принципе невозможно измерить цвет площади поверхности крупногабаритного объекта. Кроме того, 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 пересчитываются, как правило, в стандартную колориметрическую систему МКО 1931 г. (XYZ). Это вызвано тем, что большую доступность получили кривые сложения  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$ . В следующем разделе покажем, какую из известных колориметрических систем для конкретной задачи предпочтительнее использовать.

### 2. Использование колориметрических систем для колориметрии

Не менее важным для конкретной задачи является выбор стандартной колориметрической системы. Как уже упоминалось, после измерения оптического спектра, используя известные формулы (1), получаем координаты цвета:

$$\begin{aligned} X &= \int_{380}^{780} J(\lambda)k(\lambda)\bar{x}(\lambda)\partial\lambda; \\ Y &= \int_{380}^{780} J(\lambda)k(\lambda)\bar{y}(\lambda)\partial\lambda; \end{aligned} \quad (1)$$

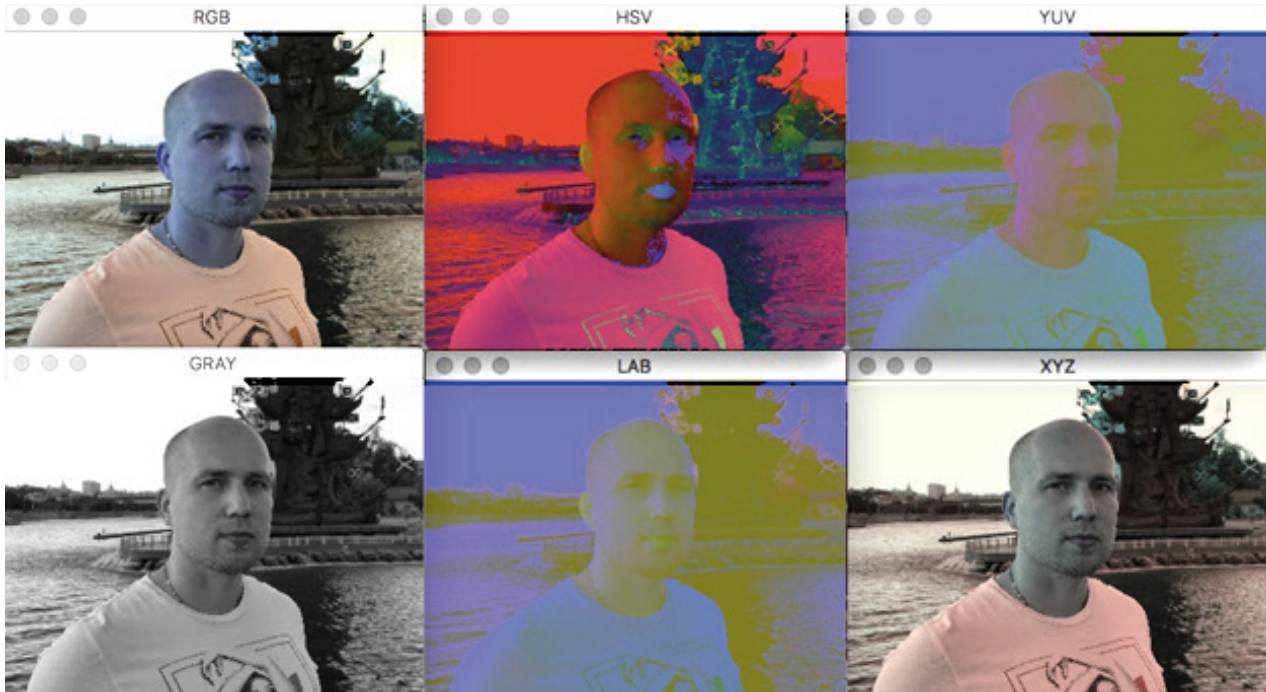


Рис. 1. Различия представления изображения разными колориметрическими системами  
Fig. 1. Differences in image presentation by different colorimetric systems

$$Z = \int_{380}^{780} J(\lambda)k(\lambda)\bar{z}(\lambda)d\lambda,$$

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

При практических вычислениях координат цвета  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  по формулам (2) определенные интегралы заменяют суммами. Согласно (1), координаты цвета являются линейными функциями относительно измеренных ординат спектра, а координаты цветности (2) уже выражаются нелинейной функцией:

$$\begin{aligned} x &= \frac{X}{X+Y+Z}; \\ y &= \frac{Y}{X+Y+Z}; \\ z &= \frac{Z}{X+Y+Z}. \end{aligned} \quad (2)$$

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 определяются выражениями:

$$u = \frac{4X}{X+15Y+3Z} = \frac{2x}{6y-x+1,5}; \quad (3)$$

$$v = \frac{6Y}{X+15Y+2Z} = \frac{3y}{6y-x+1,5}.$$

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

Наибольшее распространение в настоящее время получила колориметрическая система координат цвета – это система МКО 1976 г. (Lab). На этой системе остановимся более подробно.

Координаты цвета для этой системы определяются по выражениям:

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

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:

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

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

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

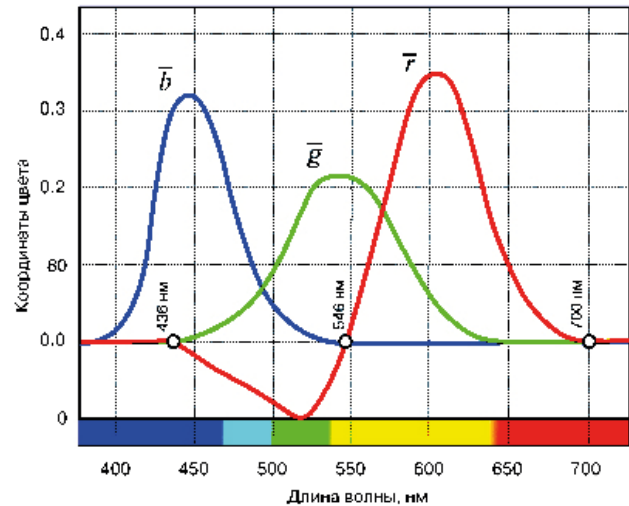
где  $\varepsilon = 216/24389$  и  $k = 24389/27$ .

Необходимо отметить, что данная система предназначена для субтрактивного синтеза цвета. Это заключение можно сделать, исходя из наличия опорного источника белого цвета с координатами  $X_0, Y_0$  и  $Z_0$ .

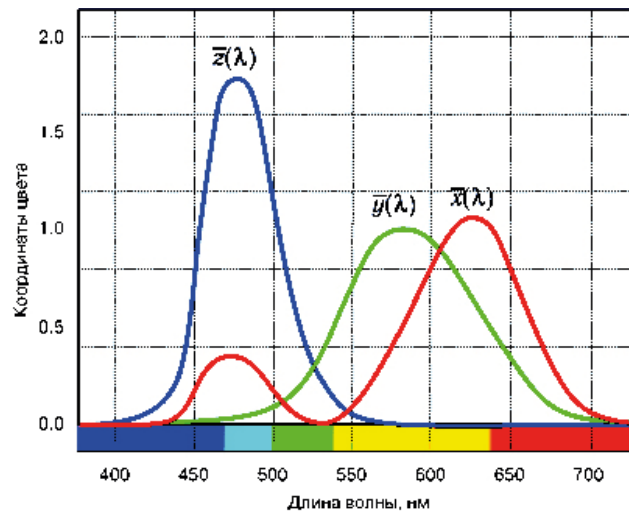
В заключение этих двух разделов необходимо сделать одно замечание. На рис. 1 показано, как «видит» конкретная колориметрическая система некоторое цветное изображение. Если сравнить систему МКО 1931 г. (RGB) и систему МКО 1931 г. (XYZ), то видно, что изображения мало чем отличаются от того, что видит глаз человека. Это сходство восприятия колориметрических систем и глаза человека можно объяснить, тем что в колориметрических системах использованы кривые сложения в прямом их виде, т. е. эти кривые не были математически подвергнуты изменениям при вычислениях координат цветности. На рис. 2 приведены кривые сложения цветов для стандартного глаза МКО: *a* – кривые системы МКО RGB и *b* – МКО XYZ. В других же системах (HSV, YUV и LAB) кривые сложения были подвергнуты нелинейными преобразованиями (см. формулы (3) и (4)). На этом же рисунке приведено изображение в серых тонах (GRAY), которое также легко смотрится и воспроизводится с хорошим восприятием.

Этот рисунок взят для демонстрации из документации по библиотеке программ OpenCV, которая была разработана для языков программирования C++ и Python.

Есть еще один фактор, выступающий уже в пользу системы Lab – это большая «чувствительность» к порогу цветоразличения. Поясним это следующим. Известно, что величина цветоразличения (порог цветоразличения по МакАдаму) в системе МКО 1960 (*u, v*) равен 0,0038, в системе МКО (*x, y*) эта величина равна 0,0057, а вот в Lab порог цветоразличения равен 3,0624. Доказа-



*a*



*b*

Рис. 2. Кривые сложения цветов: *a* – МКО 1931 г. (RGB); *b* – МКО 1931 г. (XYZ)  
 Fig. 2. Curves of color addition: *a* – CIE 1931 (RGB); *b* – CIE 1931 (XYZ)

тельство чрезмерно большой чувствительности системы Lab можно объяснить следующим образом. Из (5) ось абсцисс (координата  $a^*$  может принимать значения от 0 до 500, тогда число точек, разделенных величиной порога цветоразличения, составит ~163, а с учетом значения, что координата  $a^*$  может принимать отрицательные значения, то число точек увеличится в 2 раза. Для сравнения, в системе МКО 1960 г. – 157, а в системе МКО 1931 г. (XYZ) – 140.

Примерно то же самое можно сказать о другой координате для указанных систем.

В [3–6] приведено описание строго равноконтрастного цветового пространства, но в этом случае используется достаточно сложный математический аппарат, применены геометрия Римана и система переменного репера.

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

Рис. 3. Процедура определения значений  $R$ ,  $G$  и  $B$  сигнала от изображения с геометрическими координатами  $i, j$   
Fig. 3. Procedure for determining the values of  $R$ ,  $G$  and  $B$  of the signal from the image with geometric coordinates  $i, j$

В следующем разделе статьи приведем описание другого метода определения цветовых параметров, при котором отпадает необходимость физического (может, и частичного).

### 3. Компьютерная колориметрия

Для исследования и обработки изображения с помощью компьютера необходимо иметь соответствующее программное обеспечение, которое должно определить цвет каждого пикселя анализируемого изображения. Такую колориметрию можно назвать «компьютерная колориметрия». Причем с помощью этой колориметрии можно определять цвет пикселя изображения не только на экране монитора, но и по самому видеосигналу, который формирует данное изображение. Это позволяет избавиться от ошибок, создаваемых экраном монитора, и к тому же увеличивает скорость обработки.

Рассмотрим практическую реализацию компьютерной колориметрии. Как уже сообщалось ранее, суть данного метода – программным путем определить значения «красного»  $R$ , «зеленого»  $G$  и «синего»  $B$  сигналов в конкретные точки изображения с геометрическими координатами  $x$  и  $y$ . Это легко получается с применением практически любого языка программирования.

В основе компьютерной колориметрии можно предложить программный комплекс [7]. Наиболее просто объяснять работу программы можно по алгоритму ее работы. На рис. 3 изображен упрощенный алгоритм описываемой программы. Обозначив циклы по  $x$  и  $y$  от 0 до их максимальных значений, т. е. проведя попиксельное сканирование, мы можем определить значение цвета каждой точки поверхности объекта. Например, для языка программирования Python вид процедуры опре-

деления цвета пикселя изображения с координатами  $i, j$  показан на рис. 3.

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 [8–10].

В заключение надо отметить, что мы рассматриваем метод, который, как правило, предполагает, что исходное изображение представлено как субтрактивный синтез цвета, но в процессе измерения (определения) цвета этот метод трансформируется в аддитивный синтез цвета. Это обстоятельство сужает применение колориметрических систем, но подходит для конкретных задач, решаемых методами компьютерной колориметрии. Задачи, в которых определяется цветовое различие между цветами, должны решаться в исходной колориметрической системе  $RGB$  либо в пересчете в колориметрическую систему  $XYZ$  (см. рис. 1).

Наконец, последнее. Конечно, разработка итоговой программы для решения задач компьютерной колориметрии зависит от конкретной задачи, отсюда и вид интерфейса, связывающего человека с программой.

### Заключение

Можно сделать следующие выводы.

1. Данный метод имеет стопроцентную повторяемость при многократном определении координат цвета и цветности, чего нет у других методов.
2. Этот метод можно отнести к цифровой колориметрии.
3. Определение цветовых координат, причем в любой колориметрической системе (а можно и во всех известных системах), не представляет сложности.

### Список литературы

1. MacAdam D.L. Visual sensitivities to color differences // JOSA. 1942. Vol. 32, № 5. P. 247–274. DOI: <https://doi.org/10.1364/JOSA.32.000247>
2. Автоматическое устройство измерения спектров излучения для цветного ТВ / Л.Д. Ложкин [и др.] // Техника кино и телевидения. 1977. № 8. С. 41–43.
3. Ложкин Л.Д., Неганов В.А. Способ преобразования цветового пространства (патент на изобретение). № 2494461 от 27.09.2013. Приоритет от 08.07.2011 г., бюл. № 27 от 27.09.2013. МПК J06K 9/68 (2006.01). 20 с.

4. Lozhkin L.D. Color-discrimination thresholds and differential geometry // *Journal of Optical Technology*. 2012. Vol. 79, no. 2. P. 75–81. DOI: <https://doi.org/10.1364/JOT.79.000075>
5. Ложкин Л.Д. Цвет, его измерение, воспроизведение и восприятие в цветном телевидении. М.: Изд-во URSS, 2018. 480 с.
6. Ложкин Л.Д., Суворов Г.А. Вопросы спектрального измерения цветности // *Техника кино и телевидения*. 1979. № 3. С. 35–39.
7. Ложкин Л.Д., Вороной А.А., Кузьменко А.А. Определение возраста штриха шариковой ручки. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2019660040. Заявка № 2019616109, заявл. 28.05.2019, опубл. 30.07.2019.
8. Николаев П.П., Карпенко С.М., Николаев Д.П. Спектральные модели цветовой контрастности: правила отбора // *Труды ИСА РАН*. 2008. Т. 38. С. 322–335. URL: [http://www.isa.ru/proceedings/index.php?option=com\\_content&view=article&id=465](http://www.isa.ru/proceedings/index.php?option=com_content&view=article&id=465)
9. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2012. 1104 с.
10. Чочиа П.А. Сегментация изображений на основе анализа расстояний в пространстве признаков // *Автометрия*. 2014. Т. 50, № 6. С. 97–110. URL: [https://sibran.ru/journals/issue.php?ID=162909&ARTICLE\\_ID=162920](https://sibran.ru/journals/issue.php?ID=162909&ARTICLE_ID=162920)

## References

1. MacAdam D.L. Visual sensitivities to color differences. *Josa*, 1942, vol. 32, no. 5, pp. 247–274. DOI: <https://doi.org/10.1364/JOSA.32.000247>
2. Lozhkin L.D. et al. Automatic device for measuring emission spectra for color TV. *Tehnika kino i televidenija*, 1977, no. 8, pp. 41–43. (In Russ.)
3. Lozhkin L.D., Neganov V.A. Color space conversion method (patent for invention). No. 2494461 from 27.09.2013. Priority from 08.07.2011, bul. no. 27 from 27.09.2013. МПК J06K 9/68 (2006.01). 20 p. (In Russ.)
4. Lozhkin L.D. Color-discrimination thresholds and differential geometry. *Journal of Optical Technology*, 2012, vol. 79, no. 2, pp. 75–81. DOI: <https://doi.org/10.1364/JOT.79.000075>
5. Lozhkin L.D. *Color, Its Measurement, Reproduction and Perception in Color Television*. Moscow: Izd-vo URSS, 2018, 480 p. (In Russ.)
6. Lozhkin L.D., Suворov G.A. Spectral chromaticity measurement issues. *Tehnika kino i televidenija*, 1979, no. 3, pp. 35–39. (In Russ.)
7. Lozhkin L.D., Voronoi A.A., Kuzmenko A.A. Determining the age of a ballpoint pen stroke. Certificate of state registration of computer programs no. 2019660040. Application no. 2019616109, app. 28.05.2019, publ. 30.07.2019.
8. Nikolaev P.P., Karpenko S.M., Nikolaev D.P. Spectral color contrast models: selection rules. *Trudy ISA RAN*, 2008, vol. 38, pp. 322–335. URL: [http://www.isa.ru/proceedings/index.php?option=com\\_content&view=article&id=465](http://www.isa.ru/proceedings/index.php?option=com_content&view=article&id=465) (In Russ.)
9. Gonsales R., Vuds R. *Digital Imaging*. Moscow: Tehnosfera, 2012, 1104 p. (In Russ.)
10. Chochia P.A. Image segmentation based on distance analysis in feature space. *Avtometrija*, 2014, vol. 50, no. 6, pp. 97–110. URL: [https://sibran.ru/journals/issue.php?ID=162909&ARTICLE\\_ID=162920](https://sibran.ru/journals/issue.php?ID=162909&ARTICLE_ID=162920) (In Russ.)

---

## Physics of Wave Processes and Radio Systems 2021, vol. 24, no. 1, pp. 98–104

DOI 10.18469/1810-3189.2021.24.1.98-104

Received 27 October 2020  
Accepted 30 November 2020

### Determining the color of a multi-colored object with relatively large dimensions

Leonid D. Lozhkin<sup>1</sup>, Andrey A. Voronoi<sup>1</sup>, Alexander A. Soldatov<sup>1</sup>, Alexander A. Kuzmenko<sup>1</sup>,  
Lyudmila N. Filimonova<sup>1</sup>, Maxim Yu. Ponamarev<sup>1</sup>, Irina V. Andronova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics  
23, L. Tolstoy Street,  
Samara, 443010, Russia

<sup>2</sup> Samara National Research University  
34, Moskovskoye shosse,  
Samara, 443086, Russia

*Abstract* – The use of standard instruments (colorimeters) when measuring the color coordinates and chromaticity of multicolored objects and having relatively large dimensions is practically impossible. This is due to the fact that ordinary colorimeters, no matter what method is implemented in them, are designed to determine the color of a specific point of the measured object. This article discusses a method for determining the color of a multicolored and relatively large object, for example, a car, color photography, art painting, etc. Let us call this method computer colorimetry. A practical solution to this method can be used in such areas of the national economy, as, for example, repainting a car after damage to certain parts

of the body with damage to the paintwork, automatic control and video surveillance of forest and peatland areas to detect fires, in the examination of the authenticity of documents and works of art, and other areas of the national economy.

*Keywords* – computer monitor screen, computer colorimetry, chromaticity coordinates, primary colors, triangle of screen color gamut.

## Информация об авторах

**Ложкин Леонид Дидимович**, доктор технических наук, профессор кафедры радиоэлектронных систем Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики, г. Самара, Россия.

*Область научных интересов:* телевидение, в том числе и цифровое, колориметрия и цветовые пространства, оптика, модели передачи цвета и цветовосприятия, астрофизика и космология.

*E-mail:* leon.lozhkin@yandex.ru

**Вороной Андрей Андреевич**, кандидат физико-математических наук, доцент, заместитель заведующего кафедрой радиоэлектронных систем Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики, г. Самара, Россия.

*Область научных интересов:* устойчивость распределенных систем электропитания, электробезопасность.

*E-mail:* arminvanburn@yandex.ru

**Солдатов Александр Анатольевич**, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры радиоэлектронных систем Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики, г. Самара, Россия.

*Область научных интересов:* ферритовые устройства и антенны СВЧ.

*E-mail:* solger259145@yandex.ru

**Кузьменко Александр Александрович**, инженер кафедры радиоэлектронных систем Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики, г. Самара, Россия.

*Область научных интересов:* радиотехника, колориметрия.

*E-mail:* alexandr291294@mail.ru

**Филимонова Людмила Николаевна**, аспирант, инженер кафедры радиоэлектронных систем Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики, г. Самара, Россия. В 2019 г. окончила магистратуру Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики с отличием по направлению подготовки «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

*Область научных интересов:* нанотехнологии, методы и средства цифровой обработки сигналов и их применение в системах радиосвязи и радиовещания и телевидения.

*E-mail:* lyudmila.trifonova.2012@mail.ru

**Понаморов Максим Юрьевич**, соискатель ученой степени кандидата технических наук Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики, г. Самара, Россия.

*Область научных интересов:* оптические параметры, структурные световые пучки, искусственный интеллект.

*E-mail:* pr@psuti.ru

**Андропова Ирина Владимировна**, 1960 г. р., доктор политических наук, профессор кафедры государственного и муниципального управления Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева, г. Самара, Россия. В 1982 г. окончила Куйбышевский государственный университет по специальности «История», в 2004 г. в г. Саратов защитила диссертацию на соискание ученой степени доктора политических наук по специальности 23.00.02 – Политические институты, процессы и технологии.

*Область научных интересов:* информационное общество, обработка графических изображений.

*E-mail:* m838om@mail.ru

## Information about the Authors

**Leonid D. Lozhkin**, Doctor of Technical Sciences, professor of the Department of Radio Electronic Systems, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russia.

*Research interests:* television, including digital, colorimetry and color spaces, optics, models of color transmission and color perception, astrophysics and cosmology.

*E-mail:* leon.lozhkin@yandex.ru

**Andrey A. Voronoi**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate professor, deputy head of the Department of Radio Electronic Systems, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russia.

*Research interests:* stability of distributed power supply systems, electrical safety.

*E-mail:* arminvanburn@yandex.ru

**Alexander A. Soldatov**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate professor of the Department of Radio Electronic Systems, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russia.

*Research interests:* ferrite devices and microwave antennas.

*E-mail:* solger259145@yandex.ru

**Alexander A. Kuzmenko**, engineer of the Department of Radio Electronic Systems, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russia.

*Research interests:* radio engineering, colorimetry.

*E-mail:* alexandr291294@mail.ru

**Lyudmila N. Filimonova**, postgraduate student, engineer of the Department of Radio Electronic Systems, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russia. In 2019, she graduated from the Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics magistracy with honors in the field of training «Infocommunication technologies and communication systems».

*Research interests:* nanotechnology, methods and means of digital signal processing and their application in radio communication and radio broadcasting and television systems.

*E-mail:* lyudmila.trifonova.2012@mail.ru

**Maxim Yu. Ponomarev**, candidate for the degree of Candidate of Technical Sciences, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russia.

*Research interests:* optical parameters, structural light beams, artificial intelligence.

*E-mail:* pr@psuti.ru

**Irina V. Andronova**, born in 1960, Doctor of Political Sciences, professor of the Department of State and Municipal Administration, Samara National Research University, Samara, Russia. In 1982, she graduated from Kuibyshev State University with a degree in History, in 2004 in Saratov she defended her thesis for the degree of Doctor of Political Sciences in the specialty 23.00.02 - Political Institutions, Processes and Technologies.

*Research interests:* information society, graphic image processing.

*E-mail:* m838om@mail.ru