

Способ определения координат цвета и цветности по изображению оригинала

Л.Д. Ложкин, А.А. Солдатов, А.А. Вороной,
А.А. Кузьменко, К.П. Анкина, Т.Г. Балыкина

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики
443010, Российская Федерация, г. Самара
ул. Л. Толстого, 23

В данной статье приводятся описание метода колориметрии изображения исследуемого объекта по его фотографии или отсканированной копии. Далее по тексту статьи более кратко этот метод будем называть фотоколориметрия. В общем в науке об измерении цвета существует два направления: это просто колориметрия, где измерение цвета производится с помощью колориметра, и второе – косвенная колориметрия, в которой координаты цвета рассчитываются по известным формулам из измеренного оптического спектра либо отраженного от объекта света, либо спектра излучения (для самосветящихся объектов). Фотоколориметрия основана на специально разработанном программном обеспечении и включает в себя наличие компьютера с экраном монитора, работающего под управлением этой программы. На мониторе компьютера воспроизводится фотография исследуемого объекта, в качестве которого может быть участок тела человека (кожи), на котором видны некоторые повреждения или нежелательные объекты. Сам процесс измерения координат цвета и цветности осуществляется методом попиксельного сканирования изображения, и программным путем определяются количественные значения основных цветов экрана монитора. Зная значения координат цветности основных цветов экрана (треугольник цветового охвата) можно точно вычислить значения координат цветности исследуемого объекта. В этом и заключается принцип фотоколориметрии.

Ключевые слова: специальная программа, экран монитора компьютера, фотоколориметрия, 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 является наиболее простым, но в то же время, к сожалению, менее точным. Это направление колориметрии использует метод измерения координат цвета и цветности прибором, в котором сквозные спектральные характеристики свет-сигнал совпадают с кривыми сложения цветов, и 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. МКО (Международный комитет по освещению) ввел 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 Мак Адаму [1].

В соответствии с этим под погрешностью измерения координат цветности будем понимать разброс результатов многократных измерений одного и того источника излучения (отражения). Согласно литературным данным, повторяемость результатов многократных измерений координат цветности обычным трехцветным колориметром составляет не менее 0,05 по x и y , т. е. немного меньше 10 порогов Мак Адама. Это расхождение велико для прецизионных измерений.

Вторым направлением в вопросах колориметрии является спектральный метод (иногда в литературе его называют косвенная колориметрия). 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 опре-

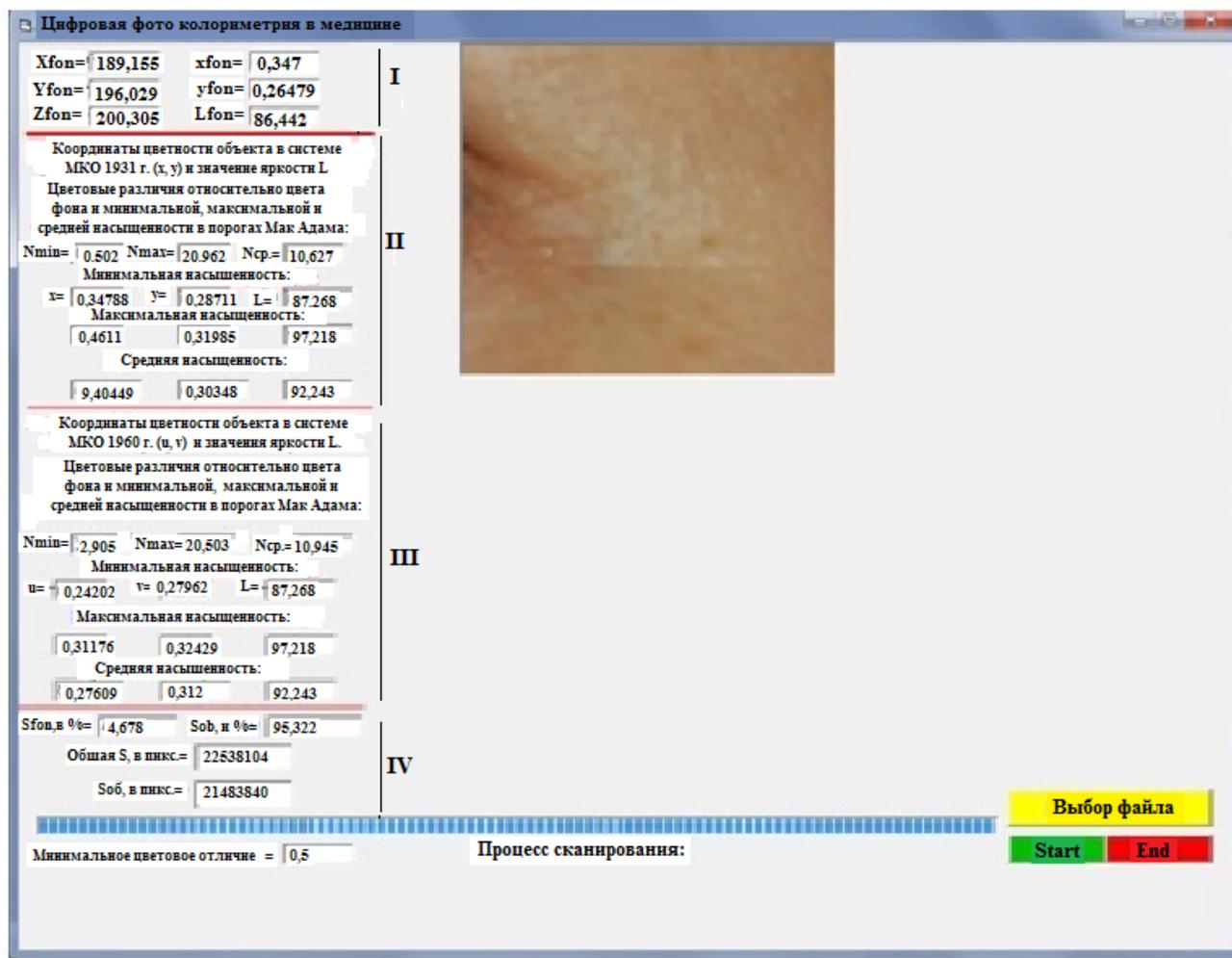


Рис. 1. Результат работы сканирования изображения

деленным шагом по длинам волн. На погрешность измерения спектра здесь будут 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 время (1975–1976 гг.) была достигнута повторяемость измерений координат цветности порядка 0,001 по x и y , что составляет менее 0,2 порога Мак Адама. Для ускорения процесса измерения ординат спектра в качестве фотоприемника в настоящее время стали применять линейку ПЗС (прибор с зарядовой связью), которую устанавливают в место выходной щели спектрального прибора, что значительно снижает как время измерения, так и трудоемкость. Но проблема измерения несамоосвещающего (отраженного) излучения остается (уменьшается отношение сигнал/шум).

От этого недостатка свободен метод, который был назван фотоколориметрией. Суть этого метода заключается в предварительном фотографировании объекта с помощью цветной с вы-

соким разрешением цифровой фотокамеры. Вопрос разрешения зависит от конкретной задачи исследования объекта. Полученный электронный снимок объекта передается в компьютер. Если объект расположен на листе бумаги, то можно обойти процесс фотографирования, заменив его сканированием, и передать как рисунок в компьютер, здесь также должно быть соблюдено оптимальное разрешение сканирования. С помощью разработанной авторами 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 фотоколориметрии.

1. Реальная система фотоколориметрии

Как уже говорилось выше, направление фотоколориметрии основано на сканирование изобра-

Координаты цветности объекта в системе МКО 1931 г. (x y) и значение яркости L.
Цветовое различие относительно цвета фона и минимальной, максимальной и средней насыщенности в порогах Мак Адама:

Nmin= Nmax= Nsr=

Минимальная насыщенность:
 x= y= L=

Максимальная насыщенность:

Средняя насыщенность:

Рис. 2. Основные результаты, полученные с помощью описываемой программы

жения объекта исследования, где каждый пиксель изображения определяет координаты цвета и цветности. Следовательно, просканировав все изображение, можно найти определенные цветовые различия в конкретных точках изображения. Таким образом, физически реальная система фотоколориметрии представляет собой программный продукт. На рис. 1. показано окно программы, в котором виден результат сканирования фотографии височной области человека.

Рассмотрим данный рисунок более подробно. В левой части этого рисунка – цифровые значения полученных результатов. Чтобы разобраться в этих данных, они разбиты на конкретные зоны и обозначены римскими цифрами от I до IV. В первой зоне этого рисунка показаны координаты цвета фона X_{fon} , Y_{fon} и Z_{fon} , которые определяются следующим образом [2]:

$$\begin{cases} X_{fon} = U_R x_R + U_G x_G + U_B x_B, \\ Y_{fon} = U_R y_R + U_G y_G + U_B y_B, \\ Z_{fon} = U_R z_R + U_G z_G + U_B z_B. \end{cases} \quad (1)$$

И далее координаты цветности фона:

$$\begin{aligned} m &= X_{fon} + Y_{fon} + Z_{fon}, \\ x_{fon} &= X_{fon}/m, \\ y_{fon} &= Y_{fon}/m, \end{aligned} \quad (2)$$

где m – модуль цвета; U_R , U_G и U_B – количество основных цветов экрана (R – красного, G – зеленого и B – синего) в исходном изображении. Численные значения основных цветов экрана находятся в пределах от 0 до 255; x_R , y_R , z_R , x_G , y_G , z_G и x_B , y_B , z_B – координаты цветности основных цветов экрана.

За фон взята точка, расположенная в левом верхнем углу окна изображения, начало геометрических координат этого окна.

S fon, в % = S ob, в % =

Общая S, в пикс =

S ob, в пикс =

Рис. 3. Заключительная часть таблицы рис. 1

Яркость фона определяется следующим образом:

$$L = \sqrt[3]{100 y_{fon} / y_{D6500}}, \quad (3)$$

где y_{D6500} – значение координаты цветности y стандартного источника D6500, которое равно 0,329 [3; 4]. Здесь используется в качестве опорного белого стандартный источник D6500, но возможно использование другого стандартного источника. Таким образом, мы показали правила расчетов координат цвета, цветности и яркости фона, а результаты этих расчетов показаны на рис. 1 – в верхнем левом углу первые три строчки.

Цвет фона указывается с некоторым разбросом по цвету, который определяется величиной «Минимальное цветовое отличие», указанное в самом нижнем левом углу окна программы, а также в порогах Мак Адама, оно может иметь любое значение, по умолчанию равно 0,5 порога. Что собой представляет порог цветоразличия и как он вычисляется, подробно описано [1; 3; 5]. На рис. 2 показана копия зоны II рис. 1. Это сделано с целью увеличения части рис. 1.

На этом рисунке все значения представляются в системе координат МКО 1931 г. (x , y), (Международная комиссия по освещению, или CIE – Commission Internationale de l'Éclairage). В первой строчке указаны цветовые различия между цветом фона и минимальной, максимальной и средней насыщенностью в порогах Мак Адама. Следующая строка указывает координаты цветности x и y , а также яркость при минимальной насыщенности цвета. Координаты цветности x и y считаются по формулам (2), причем первоначально считаются координаты цвета по (1), а яркость рассчитывается по выражению (3). Аналогично считаются координаты цветности и значение яркости при максимальной насыщенности. Среднее значение насыщенности вычисляется как среднее арифметическое значение относительно минимальной и максимальной насыщенности.

Цифровые значения, приведенные на рис. 1 (зона III), те же, что и на рис. 2, но пересчитанные в колориметрическую систему МКО 1960 г. (u , v). Перерасчет из МКО 1931 г. (x , y) в МКО 1960 г. (u , v) осуществляется по формулам:

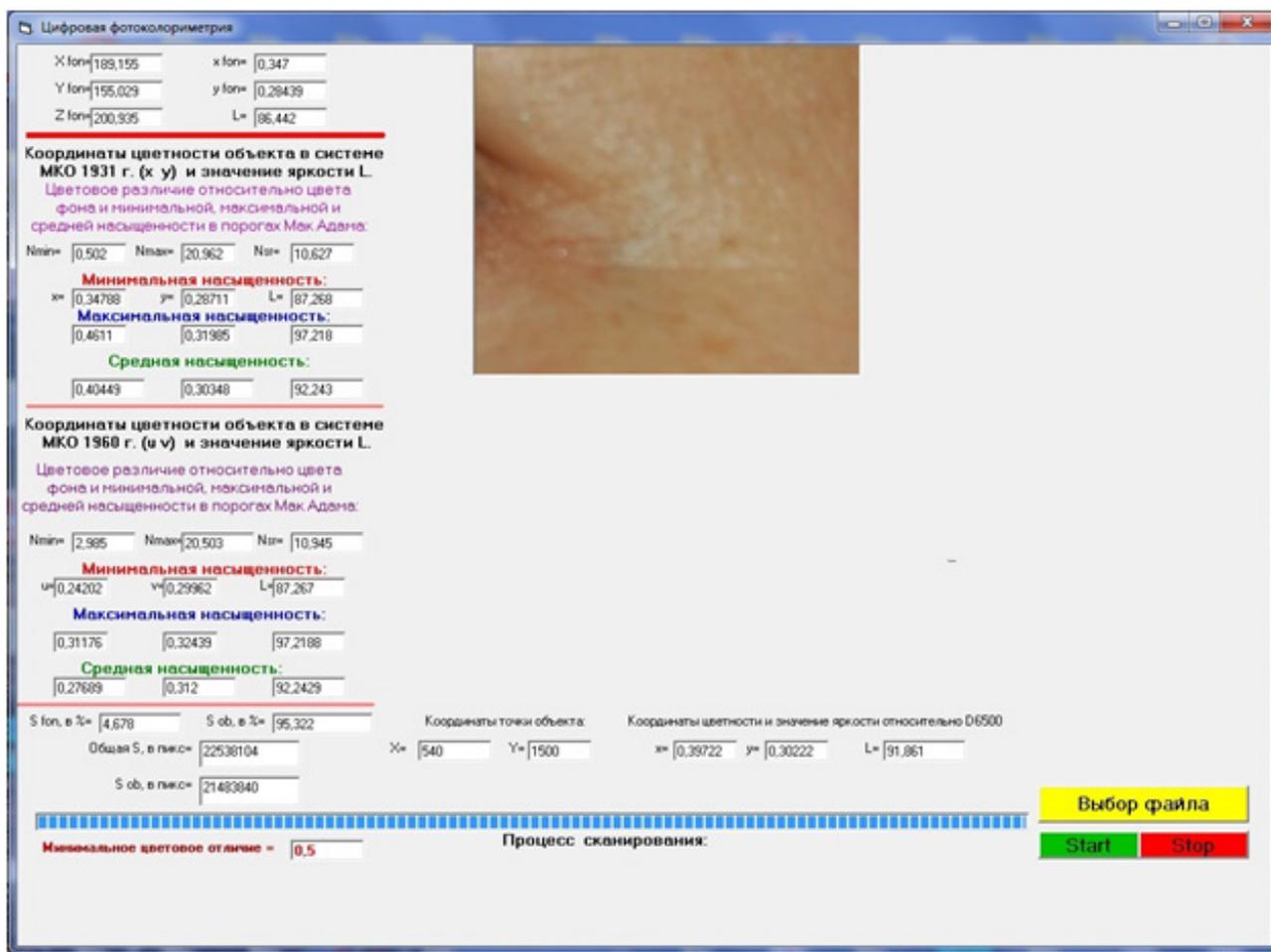


Рис. 4. Детальное исследование конкретной зоны изображения объекта

$$\begin{aligned} u &= 2x/(6y - x + 1,5); \\ v &= 3y/(6y - x + 1,5). \end{aligned} \quad (4)$$

На наш взгляд, более правильно было бы производить эти расчеты не в системе МКО 1960 г. (u, v), которая считается равноконтрастной (правильно сказать – псевдоравноконтрастной), а рассчитывать в строго равноконтрастной системе [8].

В заключение на рис. 1 (зона IV) приводятся расчеты площади цвета фона и цвета объекта в процентах, а также площади общей и объекта в пикселях. Для наглядности эта область в крупном масштабе показана на рис. 3.

Для случаев, когда необходимо детально отследить изменение цвета в выбранном участке изображения, достаточно установить указатель мышки на интересующую точку изображения, тогда ниже окна исследуемого объекта появятся пять дополнительных окон, в первых из которых будут указаны геометрические координаты X и Y указателя мышки, в двух следующих окнах будут координаты цветности x, y . И наконец, в пятом окне будет видна яркость ука-

занной точки относительно стандартного белого источника D6500. Все это показано на рис. 4. Клик мышкой по выбранной точке изображения дает возможность соединения с базой данных, в которую возможна запись числовой информации исследуемой точки изображения.

На рис. 5 показано расположение координат на цветовом локусе цветности при минимальной, максимальной и средней насыщенности цветов исследуемого объекта. На этом же рисунке показаны координаты цветности фона объекта и координаты цветности стандартного источника белого цвета D6500.

Для получения этого дополнения (рис. 5) достаточно произвести двойной щелчок мышью по окну исследуемого объекта.

2. Вопросы погрешности определения координат цветности

Как видно из формулы (1), координаты цвета X, Y и Z прямо зависят от координат основных цветов экрана монитора (от координат треугольника цветового охвата экрана). Конечно, эти

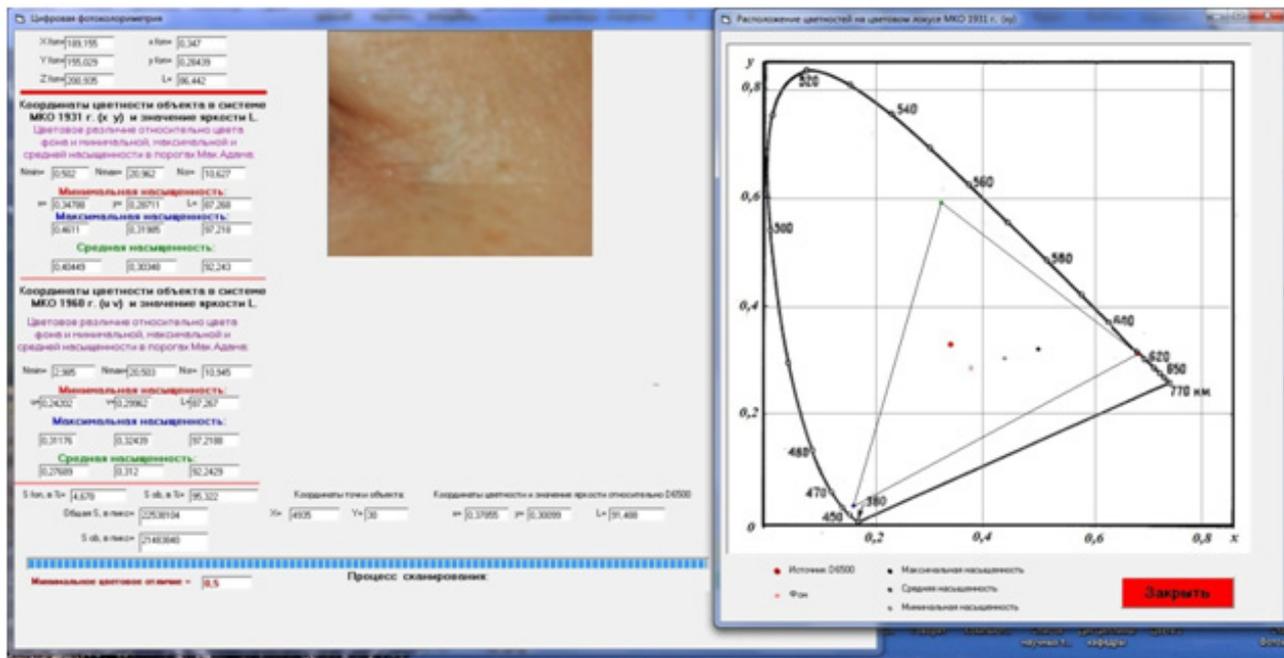


Рис. 5. Координаты цветности на цветовом локусе MCO 1931 г. (x, y)

данные (координаты треугольника цветового охвата) можно взять из соответствующих ГОСТов. Но, как правило, там эти координаты цветности приводятся с погрешностью порядка 0,01 по x и y , что во многих случаях недостаточно. Чтобы уменьшить погрешность определения координат, достаточно произвести измерения основных цветностей экрана, например, с помощью спектрального метода, погрешность которого может достигать до 0,001 по x и y [6], и уже позже пользоваться данным монитором как эталонным.

Следующий недостаток данного метода заключается в сравнительно малом цветовом охвате экрана монитора по сравнению с существующими в природе цветами. Чтобы воспроизвести цвета, координаты, цветности которых находятся за пределами треугольника основных цветов монитора, требуются отрицательные значения количества некоторых основных цветов, что в принципе невозможно.

При фотографировании объектов необходимо использовать стандартные излучатели для освещения этих объектов. Причем излучатели, применяемые для освещения, должны иметь гладкие спектры излучения. Но процесс фотографирования, передачи изображения в компьютер и, наконец, воспроизведения на экране конкретной фотографии объекта в сильной степени похож на подобный процесс в телевидении. Вопросы цветовой коррекции изображения в телевидении

неоднократно решались и опубликованы в научных статьях, к примеру [7; 9–11].

Несмотря на указанные недостатки, предлагаемый метод определения координат цвета и цветности весьма удобный и практичный.

3. Практическое применение фотоколориметрии

Применение на практике данного метода весьма перспективно, особенно в медицине. Например, при болезнях по дерматологии, т. е. на участке кожи человека выступают пятна или другие образования. Сфотографировав этот участок тела, можно определить его цвет, сделав последовательно во времени эти процедуры (фотографирование и колориметрическое исследование), можно судить о причинах, вопросах выздоровления, а при ведении базы данных – собрать статистику для анализа и диагностики. При этих исследованиях пациент не напрягается, и подобные процедуры его не тревожат. Поэтому применение метода фотоколориметрии в медицинских исследованиях весьма перспективно. Кроме того, данный метод позволяет вычислить относительную площадь артефакта (на рис. 3 показана эта площадь и обозначена как $S_{об}$, в пикс.). Изменение площади во времени может дать определенные результаты в диагностике заболевания.

Кроме того, данный метод может служить хорошим подспорьем во время проведения раз-

личных экспертиз, например подлинности документа на предмет его возраста по временно-му выцветанию текста или смене принтера при печати.

Данный метод, на наш взгляд, позволяет более качественно проводить реставрационные работы объектов, в которых важно сохранить заданный цвет, а определить его с помощью спектрального метода вызывает определенные затруднения.

В общем, предлагаемый метод позволяет с достаточно высокой точностью определять цветовые параметры объектов исследования и их изменение по тем или другим причинам во времени.

Заключение

В заключение можно сделать следующие выводы:

1. Определение цветотехнических параметров с высокой точностью некоторых объектов в некоторых случаях технически неудобно (а может быть и невозможно) определить с помощью спектрального метода. Необходимо использовать предлагаемый метод фотоколориметрии.

2. Данный метод имеет стопроцентную повторяемость при многократном определении координат цвета и цветности, чего нет у других методов.

3. Простота и скорость определения цветовых координат, причем в любой колориметрической системе координат (а можно и во всех известных системах), не представляет сложности.

Список литературы

1. Mac Adam 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. Ложкин Л.Д. Дифференциальная колориметрия в телевидении: дис. ... д-ра тех. наук. СПб., 2014.
3. Новаковский С.В. Цветное телевидение. Основы теории цветовоспроизведения. М.: Связь, 1975. 376 с.
4. Ложкин Л.Д. Цвет, его измерение, воспроизведение и восприятие в цветном телевидении. М.: Изд-во URSS, 2018. 480 с.
5. Фершильд М.Д. Модели цветового восприятия / 2-е изд.; пер. А.Е. Шадрин. N.Y.: John Wiley & Sons, 2004. 438 с.
6. Автоматическое устройство измерения спектров излучения для цветного ТВ / Л.Д. Ложкин [и др.] / *Техника кино и телевидения*. 1977. № 8. С. 41–43.
7. Lozhkin L.D. Color-discrimination thresholds and differential geometry // *Journal of Optical Technology*. 2012. Vol. 79. № 2. P. 75–81. DOI: <https://doi.org/10.1364/JOT.79.000075>.
8. Ложкин Л.Д., Неганов В.А. Способ преобразования цветового пространства (патент на изобретение). № 2494461 от 27.09.2013 г. Приоритет от 08.07.2011 г. бюл. № 27 от 27.09.2013. МПК J06K 9/68 (2006.01).
9. Ложкин Л.Д. Способ коррекции цветовых искажений, возникающих при просмотре телевизионных программ за счет источников внешнего освещения (заявка на изобретение). № 2011146820/07, 17.11.2011, Бюл. № 24 от 27.08.2013
10. Ложкин Л.Д., Солдатов А.А. Цветокоррекция в современных устройствах цветовоспроизведения // *Радиотехника и электроника*. 2018. Т. 63. № 4. С. 351–356. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0033849418040071>.
11. Lozhkin L.D., Tabakov D.P. The color in television, its reproduction and perception // *Journal of Communications Technology and Electronics*. 2018. № 7. Vol. 85. P. 54–60. DOI: <https://doi.org/10.1364/JOT.85.000419>.

References

1. Mac Adam D.L. Visual sensitivities to color differences. *Josa*, 1943, vol. 33, no. 18, pp. 247–274. DOI: <https://doi.org/10.1364/JOSA.32.000247> [in English].
2. Lozhkin L.D. *Differentsial'naja kolorimetrija v televidenii: dis. ... d-ra teh. nauk* [Differential Colorimetry in Television: Author's abstract of Doctor's of Technical Sciences thesis]. Sankt-Peterburg, 2014 [in Russian].
3. Novakovskij S.V. *Tsvetnoe televidenie. Osnovy teorii tsvetovospriizvedenija* [Color television. Fundamentals of the theory of color reproduction]. M.: Svjaz', 1975, 376 p. [in Russian].
4. Lozhkin L.D. *Tsvet, ego izmerenie, vospriizvedenie i vosprijatie v tsvetnom televidenii* [Color, its measurement, reproduction and perception in color television]. M.: Izd-vo URSS, 2018, 480 p. [in Russian].
5. Fershil'd M.D. *Modeli tsvetovogo vosprijatija / 2-e izd.; per. A.E. Shadrin* [Fershild M.D. Color perception models / 2nd ed.; trans. by A.E. Shadrin]. N.Y.: John Wiley & Sons, 2004, 438 p. [in Russian].
6. Lozhkin L.D. [et al.] *Avtomaticheskoe ustrojstvo izmerenija spektrov izluchenija dlja tsvetnogo TV* [Automatic device for measuring emission spectra for color TV]. *Tehnika kino i televidenija* [Technique of film and television], 1977, no. 8, pp. 41–43. [in Russian].
7. 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> [in English].
8. Lozhkin L.D., Neganov V.A. *Sposob preobrazovanija tsvetovogo prostranstva (patent na izobretenie)*. no. 2494461 от 27.09.2013 [The way to convert color space (patent for an invention). No. 2494461 dated 09/27/2013]. *Prioritet* от 08.07.2011 г. бюл. no. 27 от 27.09.2013. МПК J06K 9/68 (2006.01) [in Russian].
9. Lozhkin L.D. *Sposob korrektsii tsvetovyh iskazhenij, vznikajuschih pri prosmotre televizionnyh programm*

- za schet istochnikov vneshnego osveschenija (zajavka na izobrenenie). no. 2011146820/07, 17.11.2011 [The method of correcting color distortions that occur when watching television programs at the expense of sources of external lighting (application for invention). No. 2011146820/07, 11/17/2011]. Bjul. no. 24 ot 27.08.2013 [in Russian].
10. Lozhkin L.D., Soldatov A.A. Tsvetokorreksija v sovremennyh ustrojstvah tsvetovosproizvedenija [Color correction in modern color reproduction devices]. *Radiotekhnika i elektronika* [Radio engineering and electronics], 2018, no. 4, pp. 351–356. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0033849418040071> [in Russian].
11. Lozhkin L.D., Tabakov D.P. The color in television, its reproduction and perception. *Journal of Communications Technology and Electronics*, 2018, no. 7, vol. 85, pp. 54–60. DOI: <https://doi.org/10.1364/JOT.85.000419> [in English].

Method for determining color and chromaticity coordinates according to the original image

L.D. Lozhkin, A.A. Soldatov, A.A. Voronoy,
A.A. Kuzmenko, K.P. Ankina, T.G. Balykina

Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics
23, L. Tolstoy Str.
Samara, 443010, Russian Federation

In this paper, a description is given of the method of colorimetry of an image of an object under investigation according to its photograph or scanned copy. Further, in the text of the article, more briefly, this method will be called photo colorimetry. In general, in the science of color measurement, there are two directions: it is just colorimetry, where color is measured using a colorimeter, and the second is indirect colorimetry, in which color coordinates are calculated using known formulas from the measured optical spectrum or reflected from the object of light or the emission spectrum (for self-luminous objects). Photo colorimetry is based on specially developed software and includes having a computer with a monitor screen running this program. A photo of the object under study is displayed on the computer monitor, which can be a part of the human body (skin), on which some injuries or unwanted objects are visible. The process of measuring the coordinates of color and chromaticity itself is carried out by the method of pixel scanning of the image and the program determines the quantitative values of the primary colors of the monitor screen. Knowing the chromaticity coordinates of the primary colors of the screen (the triangle of color gamut), you can accurately calculate the chromaticity coordinates of the object under study. This is the principle of photo colorimetry.

Keywords: special program, computer monitor screen; photo colorimetry; chromaticity coordinates; primary colors; triangle color screen.

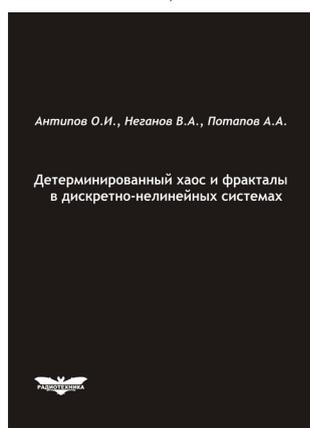
Антипов, О.И.

Детерминированный хаос и фракталы в дискретно-нелинейных системах / О.И. Антипов, В.А. Неганов, А.А. Потапов. – М.: Радиотехника, 2009. – 235 с., ил.

ISBN 978-5-88070-237-4

УДК 530.1:621.372+621.396

ББК 32.96



В монографии рассмотрены явления детерминированного хаоса и фрактальности в дискретно-нелинейных системах на примере устройств импульсной силовой электроники, приведены некоторые основные определения современной нелинейной динамики и некоторые математические методы целочисленных и дробных мер.

Представленные явления стохастической работы могут наблюдаться в широком классе систем с переменной структурой, действие которых может быть описано системами дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами, скачкообразно меняющими свои значения с течением времени в зависимости от состояния системы. Объектами исследования явились импульсные стабилизаторы напряжения различных типов и структур. Научной новизной является применение как фрактальных, так и мультифрактальных мер детерминированного хаоса к анализу стохастической работы импульсных стабилизаторов.

Для специалистов, интересующихся проблемами детерминированного хаоса, численным моделированием дискретно-нелинейных систем.