

Метод определения подлинности документа на основе компьютерной колориметрии

Л.Д. Ложкин, А.А. Кузьменко

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

Аннотация – Определение подлинности документов является важной задачей при проведении следственных мероприятий. На практике для проведения экспертизы документов для определения давности их создания используется спектральный метод, при котором необходимо делать вырезки из исследуемого документа, что приводит к его повреждению, а также требует применение дорогостоящего оборудования, что сказывается на цене проведения экспертизы документа. В статье описан метод определения подлинности документа, основанный на компьютерной колориметрии, который не требует дорогостоящего оборудования для проведения экспертизы. Данный метод для определения подлинности документа использует изменение цветности штрихов шариковой ручки с течением времени, что вызвано высыханием растворителя в чернилах ручки, а также лишен недостатка в виде необходимости повреждения исследуемого документа.

Ключевые слова – компьютерная колориметрия; координаты цветности; основные цвета; треугольник цветового охвата экрана; подлинность документа; цветовой locus.

Введение

В настоящее время в колориметрии существуют два основных направления измерения цвета, которые имеют свои достоинства и недостатки. Первое направление в измерении цвета является наиболее простым. При данном методе измерение координат цвета и цветности производится прибором, в котором сквозные спектральные характеристики «свет – сигнал» совпадают с кривыми сложения цветов. Точность измерения координат цвета в данном методе зависит от точности совпадения спектральных характеристик прибора со спектральными характеристиками кривых сложения цветов.

В соответствии с CIE (Международный комитет по освещению) стандартный наблюдатель может различить два цвета, если их цветности различаются на один порог цветоразличения по Мак-Адаму [1], что составляет не более 0,0038 на цветовой диаграмме МКО 1960 (u, v), или 0,0057 в МКО 1931(x, y). Данная величина довольно мала, и, взяв литературные данные повторяемости результатов многократных измерений цветности обычным трехцветным колориметром, можно увидеть, что данный порог не хуже 0,05 по x и y , что, в свою очередь, меньше 10 порогов Мак-Адама. Данная величина является достаточной для необходимых нам измерений.

Вторым направлением является спектральный метод (иногда в литературе его называют косвен-

ная колориметрия). В данном методе для измерения координат цвета используется специальный прибор – спектрограф. Данный прибор служит для разложения излучения исследуемого образца в спектр по длинам волн, который потом считывается фотопреобразователем. На погрешность данного метода будут влиять погрешность градуировки по длинам волн, линейность динамической характеристики «свет – сигнал» и другие параметры.

Данный метод является более длительным и трудоемким, но его точность – порядка 0,001 по x и y , что составляет менее 0,2 порога Мак-Адама [2]. Еще одна проблема данного метода заключается в том, что при измерении несамосветящихся образцов (т. е. при субтрактивном синтезе цвета) сильно 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 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.

1. Применение спектрального метода при экспертизе документов

При проведении экспертизы документов зачастую на практике исследователи не учитывают спектральную характеристику чувствительности фотопреобразователя спектрального прибора, которая представляет собой некую криволинейную функцию с «приподнятым» «красным» диапазоном по отношению к «синему» и «зеленому» в области оптического спектра. Данное обстоятельство скажется на итоговых результатах исследования в виде смещения измеренных и рассчитанных координат цвета и цветности в сторону «желто-красной» области цветового локуса [3; 4].

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 (1) значения интенсивности излучения абсолютно черного тела для значений длин волн, при которых производились измерения источника «А»:

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

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

3. Поправочный коэффициент, который скорректирует спектральную характеристику фотоприемника спектрального прибора, определяется как отношение вычисленного значения излучения по формуле Планка (1) к измеренному спектру стандартного источника «А». Далее вычисленный

поправочный коэффициент применяется как множитель во всех спектральных измерениях любых излучений.

Следующий недостаток спектрального метода определения цветовых координат штриха шариковой ручки заключается в том, что практически невозможно измерить оптический спектр штриха. Для этого необходимо, во-первых, осветить исследуемый штрих любым стандартным источником, но имеющим непрерывный спектр излучения и, во-вторых, так подать излучения штриха во входную щель спектрографа, чтобы посторонних излучений (например, излучения фона (чистой бумаги)) не присутствовало. А это практически невыполнимо [5]. Поэтому приходится для спектральных измерений цвета штриха делать вырезки из исследуемого документа и эти вырезки растворять в бесцветных растворителях. Поскольку в процессе экспертизы необходимо делать несколько подобных вырезок, то вопрос постоянства концентрации раствора остается проблемой.

Таким образом, применение спектрального метода при экспертизе подлинности документа (определение истинного возраста документа) чревато еще следующими факторами: целостью предъявляемого для исследования документа и, второе, колебаниями цветовых координат, вызванными нестабильностью концентраций растворов штриха шариковой ручки.

И, наверное, последний аргумент не в пользу спектрального метода при измерении цветовых координат. Дело в том, что в этом случае мы измеряем оптический спектр не самосветящихся объектов излучения, а спектр (в случае раствора) оптического излучения источника света, прошедшего через раствор. А, как правило, если используются сравнительно дешевые спектрофотометры, то на выходе фотоэлектронного преобразователя будет достаточно малое значение отношения сигнал/шум. Отсюда и малая повторяемость результатов измерения оптических спектров. Измеренные спектры пересчитывается, как правило, в стандартную колориметрическую систему МКО 1931 г. (XYZ). Это вызвано тем, что большую доступность получили кривые сложения $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$.

2. Метод экспертизы документов, основанный на компьютерной колориметрии

Данный метод экспертизы документов основан на использовании специального программного

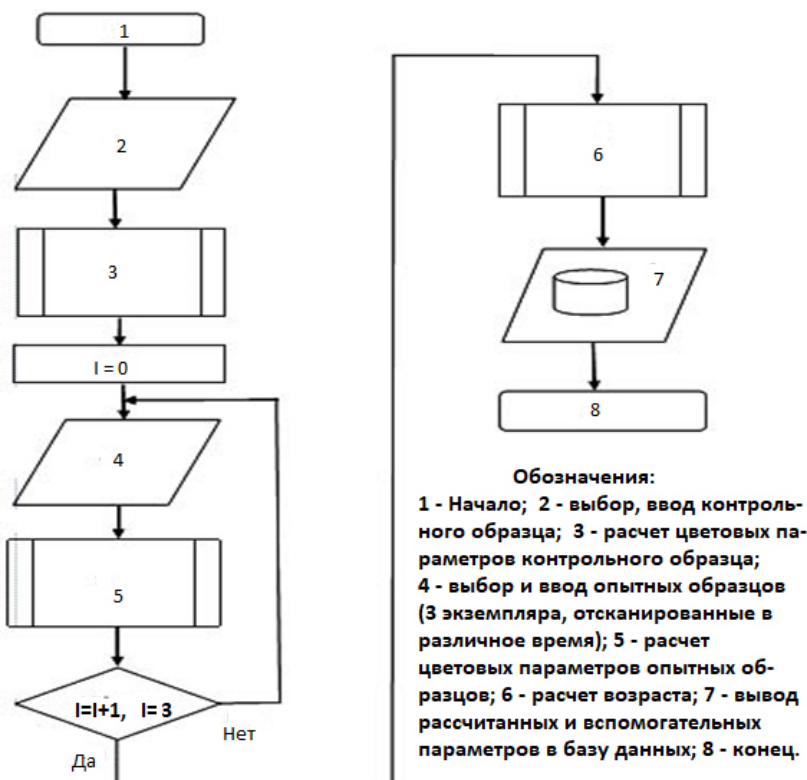


Рис. 1. Упрощенный алгоритм программы по определению подлинности документа
 Fig. 1. Simplified algorithm of the program for determining the authenticity of the document

комплекса [6], алгоритм работы которого приведен на рис. 1.

Для экспертизы документа с использованием данного программного обеспечения необходимо произвести фотографирование или сканирование исследуемого документа, после чего загрузить полученный файл в программу. Далее необходимо подгрузить в программу файл с «контрольным штрихом», который наносится на лист бумаги и сканируется непосредственно перед началом обработки.

Очевидно, что «контрольный штрих должен быть нанесен на бумагу такой же ручкой, что и исходный документ, тогда, очевидно, должен быть одинаков цвет «контрольного штриха» и цвет штриха на документе, когда он только что был подписан. Вопрос отождествления типа пасты, заправленной в шариковые авторучки, в данной статье не рассматривается.

Далее, с помощью кнопки «Расчет» производится расчет цветовых параметров фона, который, как правило, чистая белая область бумаги, на которой изображен «контрольный штрих» и непосредственно цветовые параметры самого штриха. Поскольку программа должна определить количества основных цветов экрана, то для перехода в колориметрическую систему МКО 1931 г. (XYZ)

необходимо знать координаты цветности основных цветов (рис. 2).

Образовав двойной цикл по i и j , можно вычислить координаты цвета фона и самого штриха по формулам (2):

$$\begin{aligned} X &= x_R + x_G + x_B; \\ Y &= y_R + y_G + y_B; \\ Z &= z_R + z_G + z_B. \end{aligned} \quad (2)$$

За фон принята точка с геометрическими координатами $i = 0$ и $j = 0$. Все это относится к блоку (3) рис. 1.

Для ввода и расчета цветовых параметров «опытных штрихов» (блоки 4 и 5, рис. 1) повторяется то же самое, что и для «контрольного штриха» с разницей в том, что производятся ввод и расчет для трех экземпляров «опытного штриха», полученных с некоторыми интервалами по времени (8–15 суток). Для этого в алгоритм введен счетчик числа обработанных экземпляров от $I = 0$ до $I = 2$.

Очевидно, что после сканирования в определенное время цветовые характеристики штриха будут зафиксированы на данный момент времени, время сканирования, в запись на жесткий диск компьютера.

На рис. 3 показано окно программы, в котором производится приведенное описание.

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

Рис. 2. Программный код для определения количества основных цветов пикселя изображения с координатами i, j , выполненный на языке программирования Visual Basic 2010
 Fig. 2. Program code for determining the number of primary colors of an image pixel with coordinates i, j , executed in the VisualBasic 2010 programming language

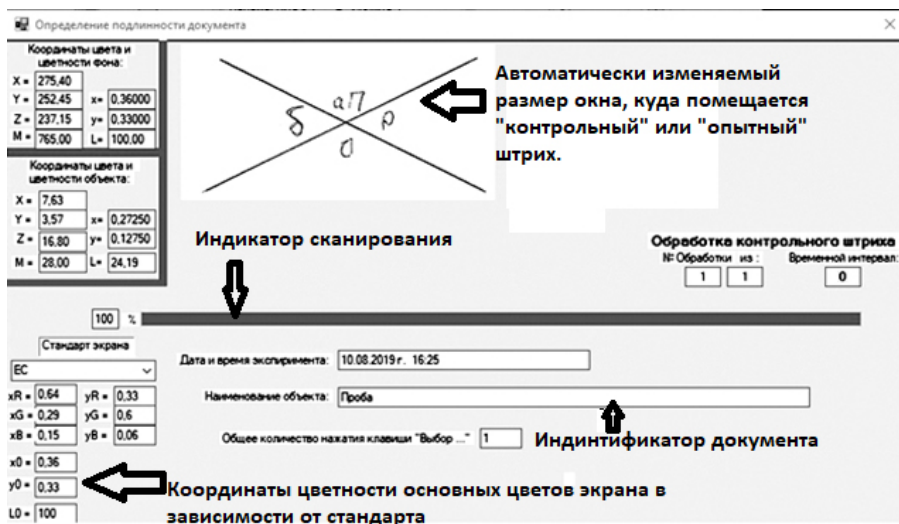


Рис. 3. Состояние экрана компьютера, после обработки «контрольного штриха»
 Fig. 3. State of the computer screen after processing the «control stroke»

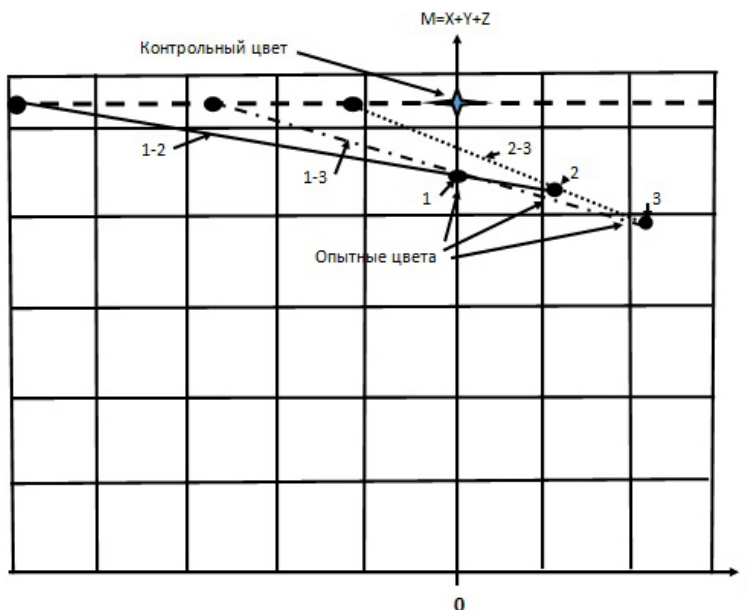


Рис. 4. Суть метода нахождения координат точки пересечение двух прямых
 Fig. 4. The essence of the method for finding the coordinates of a point the intersection of two straight lines

Процесс вычисления возраста документа осуществляется методом нахождения координат точки пересечения двух прямых. На рис. 4 показана суть метода. На рис. 4 по горизонтальной оси отложено время, причем положительная полуось этого времени совпадает с интервалами времени обработки «опытных штрихов», а отрицатель-

ная часть этой оси показывает, когда «опытный штрих» имел те же цветовые параметры, что и «контрольный штрих», обработанный в момент времени, равный 0 (почти 0, хотя между нанесением штриха, а затем его сканированием проходит время, но оно не превышает несколько минут, которыми можно пренебречь. По вертикальной оси

| | | | | | |
|----------------------------------|---------------|--------------------------------|---------------|----------------------------------|-----------------------|
| Наименование объекта | | | | | |
| Наименование экспертизы | | | | | |
| Дата анализа | Цвет фона (X) | Цвет фона (Y) | Цвет фона (Z) | Цвет артефакта (контрольный) (X) | Цвет артефакта (контр |
| 01.08.2019 | 275,4 | 252,45 | 237,15 | 7,63 | 3,57 |
| Цвет артефакта (контрольный) (Z) | | Интервал времени (контрольный) | | Цвет артефакта (опытный 1) (X) | |
| 16,8 | | 0,00 | | 4,5 | |
| Цвет артефакта (опытный 1) (Y) | | Цвет артефакта (опытный 1) (Z) | | Интервал времени 1 (опытный) | |
| 1,8 | | 23,7 | | 0 | |
| Цвет артефакта (опытный 2) (X) | | Цвет артефакта (опытный 2) (Y) | | Цвет артефакта (опытный 2) (Z) | |
| 1,95 | | 0,3 | | 5,75 | |
| Интервал времени 2 (опытный) | | Цвет артефакта (опытный 3) (X) | | Цвет артефакта (опытный 3) (Y) | |
| 10 | | 1,74 | | 0,75 | |
| Цвет артефакта (опытный 3) (Z) | | Интервал времени 3 (опытный) | | Возраст 1 | |
| 5,56 | | 18 | | 3,45 | |
| Возраст 2 | | Возраст 3 | | | |
| | | | | -2,076 | |
| Стандарт экрана | | | | | |
| E _c | | | | | |

Рис. 5. Фрагмент базы данных
 Fig. 5. Fragment of the database

на этом рисунке отображается значение $M = X + Y + Z$ и называется модуль цвета в колориметрической системе МКО 1931 г. (XYZ)

Далее, все полученные в результате расчетов данные помещаются в базу данных, фрагмент которой показан на рис. 5.

На рис. 1 этот этап показывает блок (7). На этом программа заканчивает работу (блок 8, рис. 1).

Заключение

В заключение можно сделать следующие выводы.

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

2. Данный метод позволяет проводить экспертизу документа, при этом полностью сохраняется исследуемый документ.

3. Данный метод можно отнести к цифровой колориметрии.

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

Список литературы

1. MacAdam D.L. Visual sensitivities to color differences in daylight // Journal of the Optical Society of America. 1942. Vol. 32, no. 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).
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.: URSS, 2018. 480 с.
6. 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.

References

1. MacAdam D.L. Visual sensitivities to color differences in daylight. Journal of the Optical Society of America, 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: URSS, 2018, 480 p. (In Russ.)
6. 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. (In Russ.)

Physics of Wave Processes and Radio Systems

2021, vol. 24, no. 3, pp. 111–116

DOI 10.18469/1810-3189.2021.24.3.111-116

Received 27 May 2021
Accepted 30 June 2021

Method for determining the authenticity of a document based on computer colorimetry

Leonid D. Lozhkin, Alexander A. Kuzmenko

Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics
23, L. Tolstoy Street,
Samara, 443010, Russia

Abstract – Determining the authenticity of documents is an important task when conducting investigative measures. In practice, for the examination of documents to determine the prescription of their creation, a spectral method is used, in which it is necessary to make clippings from the document under study, which leads to damage to the document under study, and also requires the use of expensive equipment, which affects the price of the examination of the document. The article describes a method for determining the authenticity of a document based on computer colorimetry, which does not require expensive equipment for conducting an examination. This method for determining the authenticity of a document uses a change in the color of the strokes of a ballpoint pen over time, which is caused by the drying of the solvent in the ink of the pen, and also lacks the disadvantage of the need to damage the document under study.

Keywords – computer colorimetry; chromaticity coordinates; primary colors; triangle of screen color coverage; document authenticity; color locus.

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

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

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

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