

УДК 519.854

С.Ю. Шабанов-Кушнаренко, З.В. Дударь, О.В. Калиниченко,
Д.Ю. Шульга, М.И. Никонова*Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков*

МОДЕЛЬ РАВНОКОНТРАСТНОГО ЦВЕТОВОГО ТЕЛА В ПРЕОБРАЗОВАНИИ ЦВЕТОВЫХ ДАННЫХ В ПОЛИГРАФИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Усовершенствована равноконтрастная модель цветового пространства, построенная по аналогии с моделью зрительного восприятия пространства. Модель может быть использована в системах управления цветом в условиях открытых полиграфических систем для повышения точности цветовоспроизведения на этапе пересчета координат цвета из аппаратно-независимого колориметрического пространства XYZ в аппаратно-зависимое пространство компьютерных цветов RGB.

Ключевые слова: колориметрическое пространство, система управления цветом, равноконтрастная модель.

Вступление

В автоматизированных информационных системах управления полиграфическим предприятием корректную совместную работу устройств ввода, отображения и вывода графической информации обеспечивает модуль управления цветом [1]. В системе управления цветом в условиях открытой полиграфической системы возникает множество проблем, связанных с согласованием цветовых охватов устройств, одинаковой интерпретацией цвета различными устройствами ввода, отображения и вывода. В связи с этим возникает необходимость исследования моделей преобразования цветовой информации в компьютерных системах. Все преобразования цвета в компьютерной системе осуществляются посредством профилей ввода, отображения и вывода, которые являются основными элементами системы управления цветом [2]. Поэтому для получения качественной полиграфической продукции необходима разработка методов, которые обеспечивают преобразование цветовой информации с высокой точностью и скоростью, которое зависит от простоты вычислительных алгоритмов интерполяции данных и их возможностей.

Постановка задачи

Для изготовления печатных изданий до недавнего времени использовались закрытые полиграфические системы, в которых репродукционный процесс был ограничен фиксированным количеством устройств ввода, отображения и вывода. В таких системах цветовые охваты каждого устройства и все его характеристики были известны. В настоящее время распространены открытые полиграфические системы, элементы которых – устройства ввода, отображения и вывода – взаимодействуют между

собой и с элементами внешней среды. Переход к таким системам обусловлен тем, что в условиях рыночной экономики большинство полиграфических предприятий специализируются на каком-либо одном или нескольких этапах репродукционного процесса, и для заказчика экономически целесообразнее организовать процесс изготовления полиграфической продукции на различных предприятиях [3].

Недостаточная точность цветовоспроизведения является основной проблемой полиграфической системы. Одной из главных причин существования искажений цветовой информации в процессе изготовления печатной продукции является различный принцип формирования цвета устройствами, участвующими в репродукционном процессе. Проблема преобразования цветовой информации при передаче от устройства ввода к устройству вывода обусловлена несколькими причинами:

- различными способами формирования цвета;
- несовпадением цветовых охватов устройств ввода, отображения и вывода цвета;
- несовпадением условий просмотра;
- значительными отклонениями в точности передачи цвета в различных участках цветовых пространств.

Целью работы является изучение последней проблемы и усовершенствование моделей преобразования цветковых данных в полиграфических системах с учетом метрики цветового зрения человека.

Цветовые пространства

Цветовое пространство – это абстрактное пространство описания цветов совместно с методом интерпретации этих данных (например, определение условий воспроизведения или просмотра — то есть задание способа реализации) через основные цвета синтеза в виде цветовых координат.

В полиграфии используют различные цветовые пространства. К основным аппаратно-зависимым пространствам для описания аддитивного синтеза относят RGB, а для субтрактивного CMYK. В пространстве RGB каждый из основных цветов изменяется в диапазоне от 0 до 255 включительно. При субтрактивной схеме формирования цвета для описания цвета используют пространство CMYK, где каждая переменная изменяется в диапазоне от 0 до 100 включительно. Цветовые координаты RGB и CMYK являются набором аппаратных данных для воспроизведения цвета на экране монитора или на бумаге, при этом цвет может зависеть от производителя монитора и его настроек или от типа печатной машины, марки красок, влажности воздуха в цехе.

Цветовые пространства XYZ и Lab являются аппаратно-независимыми трёхмерными пространствами. Эти цветовые пространства были разработаны, чтобы охватить все цвета, видимые человеческим глазом, и однозначно определять восприятие того или иного цвета человеком.

Чтобы измерить цвет в координатах LAB, необходимы специальные устройства, колориметры или спектрофотометры, способные измерять спектральные свойства света. Измерив спектральные характеристики нескольких цветовых образцов, можно определить соотношения между абсолютными значениями цвета в координатах LAB и аппаратно-зависимыми значениями в модели RGB или CMYK. Управление цветом основано на простом принципе – сначала аппаратно-зависимые значения цветов (RGB, CMYK) преобразуются в эталонное аппаратно-независимое цветовое пространство (LAB, XYZ). После определения «истинного» аппаратно-независимого значения цвета его можно в свою очередь преобразовать в аппаратно-зависимый цвет целевого устройства, например принтера.

Отношение между координатами в цветовом пространстве устройства и абсолютными координатами LAB и XYZ задаются цветовыми профилями, например разработанными консорциумом International Color Consortium® (ICC).

Матрица в цветовом профиле ICC преобразует входные координаты RGB в координаты цветового пространства XYZ. Может также использоваться таблица преобразования (LUT), сопоставляющая входное цветовое значение RGB с соответствующим цветовым значением LAB.

Оси пространства LAB коррелируют с восприятием светлоты, насыщенности и цветового тона цветового стимула. Координата L определяет светлоту стимула, а координаты a и b – его хроматическую составляющую. Координата a определяет положение цвета в диапазоне от зеленого до пурпурного, координата b — от синего до желтого. В пространстве Lab математически корректируется нели-

нейность восприятия цвета человеком, то есть одинаковое изменение значений координат цвета в разных областях цветового пространства производит примерно одинаковое ощущение изменения цвета в зрительной системе человека.

Перевод из модели RGB в модель CMYK:

$$\begin{cases} C = 1-R; \\ M = 1-G; \\ Y = 1-B. \end{cases}$$

При этом предполагается, что цвета RGB находятся в интервале $[0;1]$. Легко заметить, что для получения чёрного цвета в модели CMYK необходимо смешать голубой, пурпурный и жёлтый в равных пропорциях. Этот метод имеет два серьёзных недостатка:

во-первых, полученный в результате смешения чёрный цвет будет выглядеть светлее «настоящего» чёрного,

во-вторых, это приводит к существенным затратам красителя.

Поэтому на практике модель CMY расширяют до модели CMYK, добавляя к трём цветам чёрный.

С целью унификации была разработана международная стандартная цветовая модель XYZ. В результате серии экспериментов международная комиссия по освещению (CIE) определила кривые сложения основных цветов – красного, зелёного и синего. При описании цвета значения X, Y, Z называют стандартными основными возбуждениями, а полученные на их основе координаты – стандартными цветовыми координатами.

Свяжем координаты цвета R, G, B системы NTSC с координатами цвета X, Y, Z. Координаты цветности x, y, z связаны с координатами цвета X, Y, Z зависимостями:

$$\begin{aligned} x &= \frac{X}{X + Y + Z}, \\ y &= \frac{Y}{X + Y + Z}, \\ z &= \frac{Z}{X + Y + Z}. \end{aligned} \quad (1)$$

Координаты цветности основных цветов в системе NTSC (цветовой треугольник) определяются, согласно стандарту, следующими значениями:

$$\begin{cases} R: (x=0,67; y=0,33); \\ G: (x=0,21; y=0,71); \\ B: (x=0,14; y=0,08). \end{cases} \quad (2)$$

Вычисляем координаты ортов R, G, B в системе XYZ. Все три орта имеют единичную яркость, поэтому

$$Y_R = Y_G = Y_B = 1.$$

Из (1) и (2) получаем матрицу пересчета координат из пространства RGB в пространство XYZ:

$$\begin{cases} X = 2,0303 R + 0,2958 G + 1,75 B; \\ Y = R + G + B; \\ Z = 0,1127 G + 9,75 B. \end{cases} \quad (3)$$

Обратный пересчет координат из пространства XYZ в пространство RGB имеет вид:

$$\begin{cases} R = 0,551316 * X - 0,153692 * Y - \\ \quad - 0,083191 * Z; \\ G = -0,557762 * X + 1,132425 * Y - \\ \quad - 0,016035 * Z; \\ B = 0,006446 * X - 0,013087 * Y + \\ \quad + 0,099226 * Z. \end{cases} \quad (4)$$

Надо сказать, что сейчас есть различные варианты пространств RGB [4], у которых коэффициенты пересчета немного отличаются от указанных.

Основной целью при разработке CIE LAB было устранение нелинейности системы CIE XYZ с точки зрения человеческого восприятия. Под аббревиатурой LAB обычно понимается цветовое пространство CIE L*a*b*, которое на данный момент является международным стандартом.

Формулы для перевода координат из CIE XYZ в CIE L*a*b*:

$$\begin{cases} L^* = 116 * f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - 16; \\ a^* = 500 * \left(f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right)\right); \\ b^* = 200 * \left(f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_n}\right)\right). \end{cases}$$

где (X_n, Y_n, Z_n) – координаты точки белого в пространстве CIE XYZ, а

$$f(x) = \begin{cases} \sqrt[3]{x}; \\ \frac{1}{3} * \left(\frac{29}{6}\right)^2 x + \frac{4}{29}. \end{cases}$$

По сравнению с системой CIE XYZ евклидово расстояние

$$\sqrt{((L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2)}$$

в системе CIE L*a*b* значительно лучше соответствует цветовому различию, воспринимаемому человеком, тем не менее, стандартной формулой цветового различия является чрезвычайно сложная CIEDE2000.

Модель равноконтрастного цветового пространства

Назовем равноконтрастным такое цветовое пространство, в котором евклидово расстояние ме-

жду цветами измеряется числом цветовых порогов между ними.

Предлагаемая математическая модель пересчета из равноконтрастного пространства цветов в колориметрическое пространство XYZ основывается на собственных экспериментальных данных [5] и состоит из нескольких этапов.

Существует глубокая аналогия между механизмом цветового зрения и механизмом зрительного восприятия пространства. Давно подмечено, что природа часто использует одни и те же математические зависимости при реализации механизмов, предназначенных для совершенно различных целей. Цветовое пространство трехмерно, также трехмерно и физическое пространство, воспринимаемое глазом человека. Лучам, исходящим из оптического центра глаза, соответствуют лучи в цветовом пространстве, исходящие из точки черного цвета. Все точки одного и того же луча физического пространства проектируются в единственную точку поля зрения. Точно так же все точки каждого луча цветового пространства проектируются в одну точку цветового графика. Отдельной точке поля зрения соответствует точка цветового графика, задающая вполне определенную цветность светового излучения. Кампиметрической плоскости, т.е. плоскости физического пространства, перпендикулярной зрительной оси, соответствует в цветовом пространстве плоскость равной яркости. Расстоянию кампиметрической плоскости от оптического центра глаза соответствует в цветовом пространстве яркость светового излучения. Объективному полю зрения соответствует объективное цветовое пространство, субъективному полю зрения – субъективное цветовое пространство.

Руководствуясь вышеприведенной аналогией, мы попытаемся распространить действие известных зависимостей, описывающих преобразование объективного поля зрения в субъективное, на механизм цветового зрения и таким образом достичь математического описания метризирующего отображения объективного цветового пространства в субъективное. Если аналогия подтвердится, то для достижения полного математического описания отображения, метризирующего цветовое пространство, нам предстоит решить следующие задачи: 1) найти в цветовом пространстве луч, соответствующий зрительной оси, а на цветовом графике – его отпечаток, т.е. точку, соответствующую для поля зрения точке фиксации; 2) найти на цветовом графике положение координатных осей, соответствующих осям x_1 и x_2 на кампиметрической плоскости; 3) найти масштаб для шахматной доски Гельмгольца [6].

Пусть у нас есть координатная система $\xi'\eta'$ плоскости равной яркости в равноконтрастном цветовом пространстве (по сути – сетка с квадратными

ячейками). На первом этапе применяем нелинейное преобразование (модель шахматной доски Гельмгольца):

$$\xi = \frac{0,170 \operatorname{tg} \sqrt{\xi'^2 + \eta'^2}}{\sqrt{\xi'^2 + \eta'^2}} \xi',$$

$$\eta = \frac{0,170 \operatorname{tg} \sqrt{\xi'^2 + \eta'^2}}{\sqrt{\xi'^2 + \eta'^2}} \eta'.$$

Затем находим смещение центра преобразования:

$$u = \xi + 0,44; v = \eta + 0,26.$$

Находим параметры проективного преобразования:

$$x = \frac{3,2u}{2,4u + 3,4v + 2,5};$$

$$y = \frac{v}{2,4u + 3,4v + 2,5}.$$

Формулы пересчета от координат цветности x, y к координатам цвета X, Y, Z можно получить из (1):

$$X = Y \frac{x}{y};$$

$$Y = 1;$$

$$Z = Y \frac{1-x-y}{y}.$$

Координаты цвета в пространстве RGB получаем по матрице (4).

Для пересчета координат цветности r, g, b системы RGB NTSC в координаты цветности r', g', b' компьютерного цветового пространства R'G'B' необходимо выполнить еще два пересчета, выполняющие линеаризацию и нормализацию цветовых осей компьютерного пространства R'G'B':

$$r' = 210\sqrt{r}; g' = 166\sqrt{g}; b' = 255\sqrt{b},$$

В мониторах изменение яркости происходит в соответствии с уровнем напряжения, что соответ-

ствует квадратичной зависимости яркости. Поэтому последние формулы обеспечивают линейность шкал яркости компьютерных цветов и равную яркость их максимальных значений.

Выводы

Выполнена идентификация метризирующего отображения цветового пространства человека. Разработана более точная по сравнению с существующими модель равноконтрастного цветового графика. Предложенная модель может быть использована в системах управления цветом в условиях открытых полиграфических систем для повышения точности цветовоспроизведения.

Список литературы

1. Фрээр, Б. Управление цветом. Искусство дореальной подготовки : пер. с англ. / Б. Фрээр, К. Мэрфи, Ф. Бантинг. – К.: ООО «ТИД «ДС», 2003. – 464 с.
2. Homann, J.-P. Digital Color Management: Principles and Strategies for the Standardized Print Production / J.-P. Homann, – Berlin: X. media. publishing Series Springer, 2008. – 212 p.
3. Киппхан, Г. Энциклопедия по печатным средствам информации. Технологии и способы производства / Г. Киппхан. – М.: МГУП – Heidelberg, 2003. – 1280 с.
4. RGB/XYZ Matrices [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.brucelindbloom.com/index.html?Eqn_RGB_XYZ_Matrix.html.
5. Бондаренко М.Ф. Компьютерная система СУПЕРКОЛОП и ее использование в роли порогового колориметра / М.Ф. Бондаренко, С.Ю. Шабанов-Кушнаренко // АСУ и приборы автоматизации. – 1998. – Вып. 109. – С. 10-15.
6. Гельмгольц Г. Новейшие успехи теории зрения. Монография. Пер. с нем. / Г. Гельмгольц Под ред. О.Д. Хвольсона, С.Я. Терещина. – М.: Изд-во "Книжный дом "Либроком"", 2011. – 192 с.

Поступила в редколлегию 26.02.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.Ф. Чалый, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

МОДЕЛЬ РІВНОКОНТРАСТНОГО КОЛІРНОГО ТІЛА В ПЕРЕТВОРЕННІ КОЛІРНИХ ДАНИХ У ПОЛІГРАФІЧНИХ СИСТЕМАХ

С.Ю. Шабанов-Кушнаренко, З.В. Дударь, О.В. Калиниченко, Д.Ю. Шульга, М.І. Ніконова

Удосконалено рівноконтрастна модель колірною простору, побудована за аналогією з моделлю зорового сприйняття простору. Модель може бути використана в системах управління кольором в умовах відкритих поліграфічних систем для підвищення точності кольоровідтворення на етапі перерахунку координат кольору з апаратно-незалежного колориметричного простору XYZ в апаратно-залежне простір комп'ютерних кольорів RGB.

Ключові слова: колориметричний простір, система управління кольором, модель рівноконтрастного простору.

EQUAL-CONTRAST COLOR SPACE MODEL IN CONVERTING THE COLOR DATA IN THE PRINTING SYSTEMS

S.Yu. Shabanov-Kushnarenko, Z.V. Dudar, O.V. Kalynychenko, D.Yu. Shulga, M.I. Nikonova

Improved equal-contrast color space model, built by analogy with the model of visual perception of space. The model can be used in color management systems in open printing systems to improve the accuracy of color reproduction on stage conversion of color coordinates of the device-independent colorimetric space XYZ in device-dependent RGB color space computer.

Keywords: colorimetric space, a color management system, equal-contrast space model.