

Н.С. ГУРЬЕВА, ХНУРЭ (г. Харьков),
Н.Е. КУЛИШОВА, канд. техн. наук, ХНУРЭ (г. Харьков)

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ КОНТРАКТНОЙ ЦВЕТОПРОБЫ ПРИ РАБОТЕ С RGB-OUTPUT УСТРОЙСТВАМИ

Рассмотрен процесс построения контрактной цветопробы. Предложен итерационный метод построения профиля принтера для достижения заданной точности цветовоспроизведения и соответствия стандарту цифровой контрактной цветопробы ISO 12647-7. Описан процесс настройки системы управления цветом и преобразования цветовой информации для имитации тиражного оттиска.

Ключевые слова: контрактная цветопроба, профиль, точность цветовоспроизведения, система управления цветом.

Постановка проблемы построения цветопробы. В процессе подготовки изображения к тиражированию необходимо видеть, как будет выглядеть конечный результат. Решить данную задачу позволяет цветопроба (Color Proof). Принцип любой цифровой цветопробы основан на том, что с помощью устройства, охват которого заведомо больше, чем охват устройства назначения, эмулируют цветоискажения, характерные для целевого устройства. В данной работе, с помощью принтера Epson Stylus Pro 4880, охват которого на бумаге Sihl Maranella Satin Photo Paper ощутимо больше, чем охват евроофсета, был получен отпечаток, соответствующий офсетному тиражному оттиску.

Цветопроба – это моделирование искажений цвета, характерных для тиражного цветовоспроизводящего устройства, выполненное другим устройством. Основным компонентом цветопробной системы является профессиональный струйный принтер. В данном исследовании выбран принтер Epson серии Stylus Pro. Надежность и стабильность печати струйных систем цветопробы на базе таких принтеров подтверждена тестированием и сертификатами международных и национальных ассоциаций полиграфистов – SWOP (США), FORGA (Европа). Вторым по значимости и первым по стоимости компонентом системы цифровой цветопробы является растровый процессор. Основной причиной использования отдельного аппаратно-программного комплекса РИП (Raster Image Processor) является отсутствие аппаратной поддержки языка postscript драйвером принтера (ограничения архитектуры операционной системы). Как следствие, драйвер принтера не работает с цветовой информацией, представленной в цветовой модели СМУК [1, 2].

Таким образом, общепринятой практикой является использование растрового процессора для построения цветопробной системы и непосредственного управления подачей чернил. Однако использование

дорогостоящего специализированного программного обеспечения не всегда возможно и оправдано в силу различных причин, к которым относят редкое использование цветопробной системы и создание цветопробных оттисков с минимальной себестоимостью (в которую входят амортизационные затраты на оборудование и программное обеспечение).

Цель работы – разработка методики построения цветопробы на базе стандартных программ подготовки изображений к печати: Adobe Photoshop, Adobe Illustrator, CorelDRAW, в которые встроен модуль управления цветом для работы с профилями устройств. Данная методика должна обеспечить соответствие стандарту цифровой контрактной цветопробы ISO 12647-7 без использования дорогостоящего аппаратно-программного комплекса РИП.

Анализ работы современных систем управления цветом. Организация печатного процесса строится на том, что графический редактор, получив команду печати, передает *RGB*-данные файла драйверу принтера [1]. Цветовоспроизводящим устройством в случае цветопробной системы является комплекс, состоящий из печатающего аппарата (принтера) и его программного обеспечения (драйвера). Аппаратными данными такого устройства являются *RGB*-данные, значениям которых соответствуют жестко фиксированные значения плотностей красок, зафиксированные в таблицах соответствия драйвера принтера. Для такого устройства необходимо определить описание его цветовоспроизводящих свойств – построить профиль *RGB-output profile*, описывающий прямое и обратное преобразование аппаратно-зависимых данных и аппаратно-независимых цветовых координат. Для того чтобы такое преобразование могло быть выполнено любым приложением, структура профиля определена в открытой спецификации [2].

С целью обеспечения точного процесса репродуцирования изображений преобразование между цветами устройства и аппаратно-независимыми цветами должно проводиться с большой точностью, для этого используют многомерные таблицы соответствия, в которых находится $33 \times 33 \times 33$ каркасных точек. Профиль строится на основе отпечатка *тестовой шкалы*, представляющей собой выборку из цветового пространства устройства [3]. Далее при помощи спектрометрических промеров и обработки их специализированной программой устанавливается связь между координатами *RGB* и *Lab* для всех каркасных точек многомерной таблицы соответствия *CLUT*.

Структурная схема преобразования цвета от устройства к аппаратно-независимому пространству, в соответствии со спецификацией, представлена на рис. 1. Фактически при построении профиля вывода стандартными программами профилирования входные и выходные одномерные таблицы не используются, эти таблицы могут быть использованы при коррекции готового профиля.

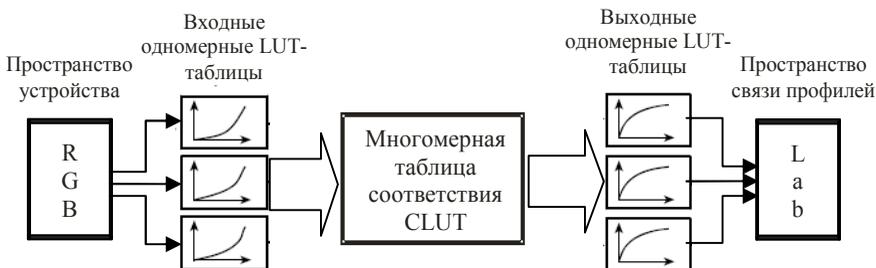


Рис. 1. Структурная схема преобразования цвета от устройства к аппаратно-независимому пространству PCS

Измеренные спектры отражения полей шкалы преобразуются в координаты XYZ методом взвешенных ординат по следующим формулам [4]:

$$\begin{aligned}
 X &= k \sum_{\lambda} \varphi(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) \cdot \Delta\lambda, \\
 Y &= k \sum_{\lambda} \varphi(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) \cdot \Delta\lambda, \\
 Z &= k \sum_{\lambda} \varphi(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) \cdot \Delta\lambda,
 \end{aligned} \tag{1}$$

где $k = 100 / \sum_{\lambda} S(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) \cdot \Delta\lambda$, а $\sum_{\lambda} \varphi(\lambda) \cdot \Delta\lambda = \beta(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot \Delta\lambda$ – каждая ордината кривой; $\Delta\lambda = 10$ нм; $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ – функции сложения, определяющие отклики фоторецептором стандартного наблюдателя, разработанного Международной комиссией по освещению (МКО 1931 г.); $\beta(\lambda)$ – спектральные коэффициенты отражения; $S(\lambda)$ – спектр стандартизованного излучения.

Отношения между PCS CIE XYZ и CIE Lab представлены набором уравнений (2), согласно спецификации ICC.1:2004-10 (Версия профайлов 4.2.0.0). В качестве релевантной белой точки используется белая точка носителя (а не источник освещения) [5, 6, 7]:

$$\begin{aligned}
 L &= 116 \left[f \left(\frac{Y_a}{Y_{mw}} \right) \right] - 16, \\
 a &= 500 \left[f \left(\frac{X_a}{X_{mw}} \right) - f \left(\frac{Y_a}{Y_{mw}} \right) \right], \\
 b &= 200 \left[f \left(\frac{Y_a}{Y_{mw}} \right) - f \left(\frac{Z_a}{Z_{mw}} \right) \right],
 \end{aligned} \tag{2}$$

где XYZ_a данные абсолютной колориметрии, XYZ_{mw} – трехстимульные значения белой точки носителя.

Трехстимульные значения позволяют пользователю определять степень цветового соответствия или несоответствия между стимулами, следовательно, с их помощью можно определить степень цветового соответствия между образцом и его репродукцией [8, 9].

Итерационный метод построения профиля принтера для достижения заданной точности цветовоспроизведения. Задача нахождения зависимости между сигналами RGB и значениями $CIE Lab$ при формировании ICC RGB -output профиля может быть сформулирована следующим образом: пусть определен набор N трехмерных зависимых от устройства цветowych образцов $\{R_i, G_i, B_i\} \in RGB, i = 1, \dots, N$, полученных в процессе характеристики устройства, и соответствующий набор трехмерных независимых от устройства образцов $\{L_i, a_i, b_i\} \in Lab, i = 1, \dots, N$.

Профиль, описывающий прямое преобразование $RGB - Lab$ и обратное преобразование $Lab - RGB$:

$$\begin{cases} L = \psi_L(R, G, B), \\ a = \psi_a(R, G, B), \\ b = \psi_b(R, G, B). \end{cases} \quad \begin{cases} R = \varphi_R(L, a, b), \\ G = \varphi_G(L, a, b), \\ B = \varphi_B(L, a, b), \end{cases} \quad (3)$$

считается корректно построенным и адекватно описывающим цветовоспроизводящие свойства системы тогда, когда для любого цвета $\{L_m, a_m, b_m\}$ после применения профиля, печати и измерения цветowych координат $\{L_{измер}, a_{измер}, b_{измер}\}$ выполняется условие:

$$\Delta E_m = \sqrt{(L_m - L_{измер})^2 + (a_m - a_{измер})^2 + (b_m - b_{измер})^2} \leq E_{st}, \quad (4)$$

где E_{st} допустимое отклонение цвета, в соответствии с действующим стандартом.

Предлагаемый метод решения состоит из выполнения следующих этапов:

1. *Печать тестовой шкалы*, представляющей собой равномерную выборку (1728 полей) из пространства RGB в диапазоне 0...255 с шагом 23 единицы.

Затем проводят измерение спектров отражения полей шкалы. Измерения необходимо проводить три раза, при едином подходе к методике измерений, что делает возможным сопоставлять результаты. Также необходимо выполнять требования к условиям измерений согласно отраслевому стандарту ISO 12647-2 (второе издание). В данной работе использован спектрофотометр Eye One Pro, Gretag Mactbeth с геометрией 45\0 и углом наблюдения стандартного наблюдателя в 2°, а образцы располагались на черной подложке под источником нормированного света D50.

Для преобразования спектральных коэффициентов отражения к координатам XYZ использован метод взвешенных ординат (уравнения (1)).

Дальнейшее преобразование XYZ координат к просмотро-независимым координатам Lab представлено уравнениями (2). Таким образом вычисляются Lab координаты полей шкалы для каждого измерения. Результаты трех измерений усредняются, и в случае отклонения измеренного значения от среднего на величину ΔE большую 1, проводится повторное измерение спектра отражения данного поля.

2. *Построение многомерных таблиц соответствия CLUT для прямого RGB – Lab и обратного Lab – RGB преобразования (рис. 1).*

Для прямого преобразования с помощью специализированного программного обеспечения решается задача интерполяции – на основе равномерной сетки из 1728 значений с шагом, равным 23, формируется равномерная сетка LUT-таблицы, содержащей 35937 значений с более мелким шагом – 7,97. Для обратного преобразования решается более сложная задача построения равномерной сетки для таблично заданных функций $R = \varphi_R(L, a, b)$, $G = \varphi_G(L, a, b)$, $B = \varphi_B(L, a, b)$. В данной работе для построения таблиц соответствия профиля принтера была использована программа фирмы X-Rite MonacoProfiler 4.8.

3. *Для оценки качества построенного профиля на соответствие стандарту ISO 12647-7 необходимо применить построенный профиль для печати контрольной шкалы.*

Стандартом ISO 12647-7:2007 "Технология полиграфии. Управление технологическим процессом по изготовлению растровых цветоделенных изображений, пробных и тиражных оттисков. Часть 7. Получение пробных оттисков непосредственно по цифровым данным" установлены следующие допуски – максимальные отклонения ΔE в соответствии с уравнением (4): для основных цветов CMYK – 5 единиц; для цвета бумаги – 3 ед.; среднее отклонение по всем полям – 3 ед.; максимальное отклонение по всем полям – 6 ед.

Для оценки достоверности работы цветопробной системы была использована новая расширенная трехстрочная версия контрольной шкалы Ugra/Fogra Media Wedge CMYK V3.0. Результаты сравнения измеренных и ожидаемых Lab координат приведены в табл. 1.

Сравнение по всем 72 полям контрольной шкалы позволяет сделать вывод о том, что не соответствуют заданным допускам на цветовоспроизведение 20,8% полей и необходима коррекция LUT-таблиц профиля.

4. *Итерационная коррекция с внесением предискажений в исходный набор Lab координат.*

Для проведения коррекции нужно определить области неудовлетворительного цветовоспроизведения в пространстве Lab . Например, для поля 6 – ожидаемые Lab координаты {47.99, 74.02, -2.98}, а измеренные {49.79, 71.15, -7.53}, $\Delta E = 5.67$. Выделяется область допустимых значений в пространстве Lab по следующему принципу – на пять единиц меньше

минимального из двух значений координаты и на пять единиц больше максимального значения: $42.99 < L < 54.79$, $66.15 < a < 79.02$, $-12.53 < b < 2.02$. Аналогичная процедура проведена для всех 15 полей со значительными отклонениями. Для автоматизации поиска полей шкалы, попадающих в установленные интервалы, и для формирования корректировочной шкалы использован программный пакет MATLAB.

Таблица 1

Отчет на соответствие стандарту цифровой цветопробы

| Критерий | ΔE | Допуск | № поля шкалы | Отметка о соответствии цветопробы стандарту |
|-------------------------------------|------------|--------|--------------|---|
| Цвет бумаги | 2.46 | 3.0 | 69 | соответствует |
| Среднее отклонение по всем полям | 4.44 | 3.0 | – | не соответствует |
| Наибольшее отклонение по всем полям | 8.08 | 6.0 | 70 | не соответствует |
| Cyan | 4.49 | 5.0 | 1 | соответствует |
| Magenta | 5.67 | 5.0 | 6 | не соответствует |
| Yellow | 2.19 | 5.0 | 11 | соответствует |
| Black | 3.22 | 5.0 | 21 | соответствует |

Таким образом, полями корректировочной шкалы являются все поля *тестовой шкалы*, попавшие в заданные области допустимых значений – это области пространства, подвергающиеся коррекции. После формирования корректировочной шкалы, ее распечатывают с применением профиля принтера и вычисляют отклонение измеренных значений от ожидаемых по каждой цветовой координате (ΔL_i , Δa_i , Δb_i).

Последним шагом является внесение поправок в исходный набор *Lab* координат на величины ΔL_i , Δa_i , Δb_i и повторение шагов 2 – 4 до получения необходимого результата (табл. 2).

Таким образом получают профиль принтера, который удовлетворяет требования стандарта контрактной цветопробы по всем критериям (допускам) и используется в дальнейшем для имитации офсетной печати.

Сходимость итерационного метода выборочной коррекции показана на рис. 2.

Как видно из рисунка, сходимость метода для различных цветовых областей различна. В данном эксперименте первые три итерации обеспечивают требуемую точность, однако в зависимости от типа принтера и качества используемой фотобумаги количество итераций может варьироваться.

Отчет на соответствие стандарту цифровой цветопробы после трех итераций

| Критерий | ΔE | Допуск | № поля шкалы | Отметка о соответствии цветопробы стандарту |
|----------------------------------|------------|--------|--------------|---|
| Цвет бумаги | 2.46 | 3.0 | 69 | соответствует |
| Среднее отклонение по всем полям | 2.95 | 3.0 | – | соответствует |
| Мах отклонение по всем полям | 5.01 | 6.0 | 70 | соответствует |
| Cyan | 4.65 | 5.0 | 1 | соответствует |
| Magenta | 4.87 | 5.0 | 6 | соответствует |
| Yellow | 2.49 | 5.0 | 11 | соответствует |
| Black | 3.12 | 5.0 | 21 | соответствует |

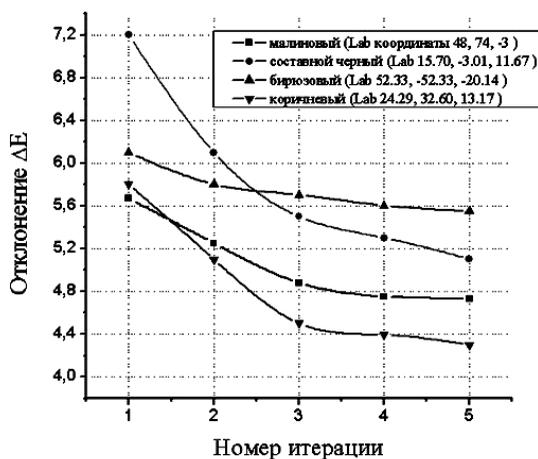


Рис. 2. Сходимость итерационного метода в зависимости от числа итераций

Преобразование цветовой информации для имитации тиражного оттиска. Принцип действия системы цветопробы на основе драйвера принтера не зависит от используемой программы подготовки изображений к выводу. Используя цветовой профиль тиражного (имитируемого) процесса, система управления цветом пересчитывает данные *CMYK* в аппаратно-независимое цветовое пространство *Lab*. А затем, используя цветовой профиль струйного принтера, из координат *Lab* рассчитываются *RGB*-значения, которые должны подаваться на принтер для получения цвета, соответствующего тиражному. Пользовательский интерфейс в разных программах имеет незначительные

различия, поэтому ниже рассмотрен процесс настройки печати на примере программы Adobe PhotoShop CS3:

1. Подготовка к печати файла в цветовом пространстве *CMYK* с профилем печатной машины, либо (при отсутствии такового) с абстрактным *CMYK* профилем.

В данной работе в качестве цветового профиля имитируемого тиражного процесса использован абстрактный *CMYK* профиль ECI Coated offset profile – ISOcoated_v2_eci, разработанный на основе усредненных статистических данных (стандарт европейской офсетной печати ISO 12647-2 ECI).

2. Конвертация аппаратно-зависимых значений *CMYK* к аппаратно-независимым цветовым координатам *Lab* (Convert to profile) с Абсолютной колориметрической целью цветопередачи – для имитации цвета тиражной бумаги.

3. Конвертация аппаратно-независимых значений *Lab* к аппаратно-зависимым цветовым координатам *RGB* Epson (Convert to profile) с Относительной колориметрической целью цветопередачи.

4. Печать при отключенной системе управления цветом как в Adobe PhotoShop CS3, так и в драйвере принтера. Все настройки необходимо оставить такими же, как и при печати тестовой шкалы для построения профиля принтера.

Описанная выше последовательность действий 1 – 4 обеспечивает корректное преобразование цветовой информации в процессе изготовления цифровой цветопробы.

Выводы. В работе описана методика построения цветопробной системы на базе стандартной программы подготовки изображений к печати с модулем управления цветом и профессионального струйного принтера. Предложен итерационный метод внесения поправок в исходные данные и реализован на высокоуровневом языке программирования MATLAB. Данный метод позволяет получить профиль принтера, который удовлетворяет стандарту контрактной цветопробы по всем критериям и используется в работе цветопробной системы для имитации тиражного процесса.

Список литературы: 1. Фрэнсер Б. Управление цветом. Искусство допечатной подготовки. – К.: "ДиаСофт", 2003. – 464 с. 2. ICC (International Color Consortium), Specification ICC.1:2004-10 (Profile version 4.2.0.0) "Image technology colour management – Architecture, profile format, and data structure". – 2004. 3. Gaurav Sharma. The Digital Color Imaging Handbook. – New York: CRC Press, 2003. – 592 p. 4. Джадд Д., Вышецки Г. Цвет в науке и технике. – М.: Мир, 1978 – 484 с. 5. Takagi M., Shimoda Y. "Handbook of Image Analysis". – Tokyo: Tokyo University Press, 1995. 6. Braun K.M., Fairchild M.D., Alessi P.J. "Viewing Techniques for Cross-Media Image Comparisons". // Color Res. – 1996. – Appl. 21. – P. 6–17. 7. Alessi P.J. (CIE TC 1-27), "CIE Guidelines for Coordinated Research on Evaluation of Colour Appearance Models for Reflection Print and Self-Luminous Display Image Comparisons" // Color Res. – 1994. – Appl. 19. – P. 48–58. 8. Fairchild M.D. "Some Hidden Requirements for Device-Independent Color Imaging" / SID 94 Digest. – 1994. – P. 865–868. 9. Феррильод Марк Д. Модели цветового восприятия / Превод с англ. А. Шадрина. – М.: Вильямс, 2006. – 439 с.

УДК 655.3.022.11

Особливості побудови контрактної кольоропроби при роботі із RGB-OUTPUT пристроями / Гур'єва Н.С., Кулішова Н.Є. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2008. – № 49. – С. 42 – 50.

Розглянуто процес побудови контрактної кольоропроби. Запропоновано ітераційний метод побудови профілю принтера для досягнення заданої точності кольоровідтворення й відповідності стандарту цифрової контрактної кольоропроби ISO 12647-7. Описано процес налаштування системи керування кольором і перетворення колірної інформації для імітації тиражного відбитка. Лл.: 2. Табл.: 2. Бібліогр.: 9 назв.

Ключові слова: контрактна кольоропроба, профіль, точність кольоровідтворення, система керування кольором.

UDC 655.3.022.11

Particularities of the building contract color proof relative to RGB-OUTPUT devices / Gurieva N.S., Kulishova N.E. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2008. – №. 49. – P. 42 – 50.

It was considered process of the contract color proof building. It was offered the iterative method of the printer profile creating for achievement given accuracy reproduction and correspondences to standard of digital contract proof ISO 12647-7. The process adjusting color management system for imitation print copy was described. Figs: 2. Tabl.: 2. Refs: 9 titles.

Key words: contract color proof, profile, accuracy of color reproduction, color management system.

Поступила в редакцію 10.10.2008