

УДК 655.2:004.9

С. В. Сипайло

Белорусский государственный технологический университет

**ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ЦВЕТОВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ВЕЩЕСТВЕННЫХ
ИЗОБРАЗИТЕЛЬНЫХ ОРИГИНАЛОВ ПРИ СКАНИРОВАНИИ**

В статье рассмотрена задача повышения колориметрической точности цветовоспроизведения вещественных изобразительных оригиналов при сканировании. Вещественная форма является традиционной формой представления изобразительных оригиналов для полиграфического репродуцирования. В этом случае изображение содержится на материальном носителе информации, например на бумаге. В настоящее время также получили широкое распространение компьютерные средства создания изображений и цифровая фотография. Несмотря на это, задача оцифровки вещественных изобразительных оригиналов путем сканирования остается актуальной. Для обеспечения точности цветовоспроизведения необходимо применять систему управления цветом и персональный цветовой профиль сканера. Чтобы создать цветовой профиль сканера, требуется вещественная контрольная шкала, состоящая из полей различных цветов, и специализированное программное обеспечение. Использование разных вариантов контрольных шкал и программного обеспечения дает неидентичные результаты цветового профилирования для одного и того же сканера. Это обусловлено отличием контрольных шкал по количеству полей и их цветовым параметрам, а также отличием программного обеспечения в применяемом математическом аппарате и точности расчетов. В целом использование персонального цветового профиля сканера позволяет существенно уменьшить цветовые искажения изображения по сравнению с прямым назначением унифицированного профиля типа sRGB.

Ключевые слова: цветовой профиль, сканирование изображения, точность цветовоспроизведения, система управления цветом.

Для цитирования: Сипайло С. В. Повышение точности цветовоспроизведения вещественных изобразительных оригиналов при сканировании // Труды БГТУ. Сер. 4, Принт- и медиатехнологии. 2024. № 2 (285). С. 47–52.

DOI: 10.52065/2520-6729-2024-285-6.

S. U. Sipaila

Belarusian State Technological University

**INCREASING THE ACCURACY OF COLOR REPRODUCTION OF REAL
PICTORIAL ORIGINALS AT THE SCANNING STAGE**

The article considers the problem of increasing the colorimetric accuracy of color reproduction of real pictorial originals during scanning. The material form is the traditional form of presentation of pictorial originals for printing reproduction. In this case, the image is contained on a tangible information carrier, such as paper. Currently, computer tools for creating images and digital photography have also become widespread. Despite this, the problem of digitizing real pictorial originals by scanning remains relevant. To ensure the accuracy of color reproduction, it is necessary to use a color management system and a personal color profile of the scanner. To create a color profile of the scanner, a real control scale consisting of fields of different colors and specialized software are required. The use of different versions of control scales and software gives non-identical results of color profiling for the same scanner. This is due to the difference in control scales in the number of fields and their color parameters, as well as the difference in software in the mathematical apparatus used and the accuracy of calculations. In general, the use of a personal color profile of the scanner allows to significantly reduce color distortions of the image compared to the assignment of a unified color profile such as sRGB.

Keywords: color profile, image scanning, color accuracy, color management system.

For citation: Sipaila S. U. Increasing the accuracy of color reproduction of real pictorial originals at the scanning stage. *Proceedings of BSTU, issue 4, Print- and Mediatechnologies*, 2024, no. 2 (285), pp. 47–52 (In Russian).

DOI: 10.52065/2520-6729-2024-285-6.

Введение. Традиционной формой представления изобразительных оригиналов для полиграфического репродуцирования является вещественная, при которой изображение содержится

на материальном носителе информации, например на бумаге. С развитием информационных технологий в настоящее время также практикуется получение изображений сразу в цифровом виде.

Так, в качестве компьютерных инструментов создания изображений распространены программы цифровой живописи [1, 2], системы автоматизированного проектирования декоративных и технических изображений на основе ряда параметров синтезируемого объекта [2–7]. В последние годы существенно возросли возможности компьютерного синтеза художественных иллюстраций и фотореалистичных изображений с помощью нейросетей [8, 9]. Для получения цифровых изображений натуральных объектов используется цифровая фото-съемка. Однако, несмотря на широкое распространение цифровой фотографии и компьютерных средств создания изображений, задача оцифровки вещественных изобразительных оригиналов остается актуальной, пусть и в меньшей степени, чем раньше. Оцифровка вещественных оригиналов осуществляется путем сканирования. В качестве многоцветных вещественных оригиналов могут выступать художественные иллюстрации, аналоговые фотоснимки прошлых лет. Кроме того, в настоящее время наблюдается рост интереса к классической пленочной фотографии. Важной задачей полиграфического репродуцирования многоцветных изображений является обеспечение высокой точности воспроизведения цвета [10, 11].

Основная часть. Для обеспечения точности цветовоспроизведения изобразительных оригиналов на допечатном этапе используются следующие средства [12, 13]: 1) система управления цветом; 2) цветовые профили устройств ввода, отображения и вывода изобразительной информации.

Система управления цветом представляет собой специализированный программный модуль, который выполняет пересчет цветовых координат при преобразовании цветов изображения из одного цветового пространства в другое.

Цветовым профилем называют технический файл, который в стандартизированном виде содержит информацию об особенностях цветопередачи реального или абстрактного устройства ввода, отображения и вывода изобразительной информации. На практике широко распространены ICC-профили, в которых значения цветовых координат аппаратно-зависимой цветовой модели сопоставлены со значениями цветовых координат аппаратно-независимой колориметрической системы. В отличие от аппаратно-зависимых цветовых моделей, базовые цветовые параметры колориметрической системы жестко регламентированы [14, 15], что позволяет количественно выразить цвет с точки зрения его восприятия усредненным наблюдателем.

Для достижения точной цветопередачи вещественного оригинала при сканировании требуется цветовой профиль сканера, который позволяет сопоставить значения аппаратно-зависимых RGB-координат изображения, полученного

в результате сканирования, со значениями цветовых координат аппаратно-независимой колориметрической системы ($L^*a^*b^*$).

Если задействовать систему управления цветом при отображении отсканированного изображения на экране монитора, то полученные при сканировании цветовые координаты R, G, B сначала преобразуются в координаты L^*, a^*, b^* в соответствии с информацией, содержащейся в цветовом профиле сканера. Затем координаты L^*, a^*, b^* преобразуются в другие по числовым значениям координаты R, G, B , соответствующие цветовому профилю монитора. Таким образом при различных значениях координат R, G, B для сканера и монитора будет обеспечена тождественность цвета оригинала и экранного изображения с точки зрения его зрительного восприятия человеком. Подобные преобразования цветовых координат аппаратно-зависимых цветовых моделей через аппаратно-независимую модель $L^*a^*b^*$ будут происходить и при воспроизведении цветного изображения на материальном носителе с помощью печатающего устройства, например цветного принтера. При этом, если особенности цветопередачи сканера не будут охарактеризованы персональным цветовым профилем, а вместо этого с отсканированным изображением будет сопоставлен унифицированный цветовой профиль типа sRGB или Adobe RGB [16] без дополнительных преобразований цветовых пространств, то задача точного цветовоспроизведения оригинала решена не будет.

Для создания цветового профиля сканера необходимо иметь вещественную контрольную шкалу, включающую поля различных цветов, и программные средства профилирования. Контрольная шкала по существу выступает в роли вещественной модели оригинала с широким цветовым охватом. Она должна быть стандартизированной с точки зрения состава полей и поддерживаться используемым программным обеспечением. Также для создания цветового профиля сканера, помимо самой контрольной шкалы, требуется технический файл с информацией о фактических цветовых координатах полей этой шкалы в ее вещественной форме. Обычно этот файл является универсальным текстовым документом, но структура данных, содержащихся в нем, строго регламентирована для корректной интерпретации программой профилирования. Как правило, в таком файле приводится тип контрольной шкалы, данные о ее разработчике, год выпуска, дата измерений и сами результаты измерений в виде массива числовых данных.

Широкое распространение для профилирования сканера получили шкалы IT 8.7/2 (на непрозрачной основе) и IT 8.7/1 (на прозрачной) [12]. Также могут применяться и другие

шкалы с цветными контрольными полями, созданные разработчиками программного обеспечения для профилирования сканера. В качестве примера можно привести разработку компании X-Rite – шкалу ColorCheckerClassic, которая используется в связке с программным обеспечением X-Rite i1Profiler, предназначенным для создания цветных профилей. Эта программа является коммерческим продуктом, для функционирования которого требуется приобретение спектрофотометра серии X-Rite i1, выступающего в роли аппаратного USB-ключа. Также доступны и некоммерческие программные средства для цветового профилирования, например Little CMS Profiler. Кроме специализированных программ, предназначенных только для цветового профилирования, создание цветных профилей возможно с помощью программного обеспечения сканирования, обладающего расширенной функциональностью. Это может быть программное обеспечение от самого производителя сканера или универсальная программа сканирования третьих разработчиков, совместимая с большим количеством различных моделей сканеров, например программы VueScan и Silverfast.

Использование различных вариантов шкал, отличающихся количеством и цветовыми параметрами полей, применение разных версий программного обеспечения, реализующих расчеты на основе того или иного математического аппарата с разной точностью вычислений, обуславливает неидентичные результаты цветового профилирования для одной и той же модели сканера.

Экспериментальная часть работы, изложенной в статье, состояла в использовании различных шкал и программных средств профилирования сканера с последующим сравнительным анализом точности цветовоспроизведения оригинала.

В качестве устройств сканирования применялись МФУ Canon MF 443 DW и сканер Epson Perfection v33. Сканер фирмы Epson обладает лучшими техническими характеристиками, в частности имеет более широкий динамический диапазон, что теоретически должно обеспечить более широкий цветовой охват и более точное цветовоспроизведение оригиналов. Для цветового профилирования сканированию подвергались контрольные шкалы Kodak IT 8.7/2 и X-Rite ColorCheckerClassicMini. Шкала Kodak IT 8.7/2 включает 264 поля различного цвета, в том числе ахроматические поля. Шкала X-Rite ColorCheckerClassicMini имеет в своем составе высоконасыщенные поля, что обеспечивает широкий цветовой охват оригинала, но общее количество полей шкалы сравнительно невелико – 24. Последнее обстоятельство может негативно сказаться на правильности цветового соответствия R , G , B и L^* , a^* , b^* координат в цветовом профиле.

Для повышения точности профилирования информация о фактических цветовых координатах полей контрольных шкал была актуализирована путем проведения цветных измерений и занесения их результатов в технические текстовые файлы. В роли инструмента измерения цвета выступал спектрофотометр из модельного ряда X-Rite i1Pro в сочетании с комплектным программным обеспечением. Для создания цветового профиля использовались программы i1Profiler (поддерживает шкалы IT 8.7/2, ColorCheckerClassicMini) и Little CMS Profiler (поддерживает только шкалу IT 8.7/2).

Для оценки результатов профилирования применялась программа Adobe Photoshop. С ее помощью осуществлялось сопоставление полученного цветового профиля с отсканированным изображением и анализ цветных координат контрольных полей изображения в колориметрической системе $L^*a^*b^*$. При этом для нивелирования вероятного графического шума, который мог возникнуть при сканировании, определение цветных координат отсканированного изображения производилось инструментом «Пипетка» с областью усреднения 11×11 пикселей.

Отклонение цветов изображения, полученных при сканировании, от фактических цветов вещественного оригинала, выраженных в координатах L^* , a^* , b^* , характеризовалось количеством порогов цветового различия ΔE [12, с. 76]:

$$\Delta E = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2}.$$

В качестве модельного оригинала, по результатам сканирования которого давалась оценка точности цветовоспроизведения в связке с разными версиями профиля сканера, было решено использовать шкалу IT 8.7/2 по причине большего количества полей в ее составе по сравнению с ColorCheckerClassicMini.

Математическая обработка экспериментальных данных осуществлялась в программе Excel. Результаты оценки точности цветовоспроизведения оригинала при сканировании с использованием альтернативных цветных профилей сканера, полученных в данной работе, и унифицированного профиля sRGB представлены в таблице. В ней для каждой модели сканирующего оборудования приведены следующие показатели: 1) среднее значение количества порогов цветового различия $\Delta E_{\text{ср}}$, характеризующее отклонения цветов контрольных полей оригинала от его отсканированного изображения; 2) максимальное значение $\Delta E_{\text{макс}}$ из всего множества значений ΔE для контрольных полей; 3) минимальное значение $\Delta E_{\text{мин}}$.

Из результатов эксперимента следует, что использование персонального цветового профиля сканера позволяет значительно уменьшить

цветовые искажения при сканировании оригинала по сравнению с применением унифицированного RGB-профиля. Вместе с тем уменьшить цветовые искажения до величины ниже одного порога цветового различия, т. е. за пределами восприятия органом зрения, полностью не удается.

Оценка точности цветовоспроизведения оригинала при сканировании

Показатель	Значения показателей при использовании различных цветовых профилей				
	профиль sRGB	профили сканера, полученные с использованием различных шкал и программного обеспечения			
		шкала ColorChecker (неактуализированная)	шкала ColorChecker (актуализированная)	шкала IT 8.7/2, LCMS Profiler	шкала IT 8.7/2, i1 Profiler
Canon MF 443 DW					
$\Delta E_{\text{ср}}$	8,7	4,6	4,2	5,5	6,8
$\Delta E_{\text{макс}}$	25,5	11,5	9,4	9,5	11,2
$\Delta E_{\text{мин}}$	2,2	0,1	0,1	2,5	1,9
Epson Perfection v33					
$\Delta E_{\text{ср}}$	11,4	4,1	3,9	4,3	6,6
$\Delta E_{\text{макс}}$	37,4	10,6	10,6	5,8	9,2
$\Delta E_{\text{мин}}$	0,7	1,0	1,2	2,2	1,5

Применение различных шкал и программных средств профилирования дало сопоставимые результаты, однако наибольшая точность достигнута при использовании программы i1Profiler в сочетании со шкалой ColorCheckerClassicMini и программы LCMS Profiler в сочетании со шкалой IT 8.7/2. При этом с точки зрения плавности тоновых переходов на сюжетно-важных участках фотографических оригиналов и психологической точности воспроизведения цвета лучшие результаты, по мнению автора, получены при

использовании профиля, созданного программой Little CMS Profiler в сочетании со шкалой IT 8.7/2. Такой результат можно объяснить большим количеством полей в составе шкалы IT 8.7/2 по сравнению со шкалой ColorCheckerClassicMini. Кроме того, следует отметить, что технические возможности самого сканера, в частности его цветовой охват, также влияют на точность цветовоспроизведения. Даже при абсолютно точном цветовом профилировании сканера ряд цветов оригинала может быть воспроизведен недостоверно, если они лежат за пределами цветового охвата сканирующего устройства. Так, сравнение двух моделей оборудования показало, что лучшие результаты цветовоспроизведения обеспечены сканером Epson Perfection v33 при профилировании с использованием шкалы IT 8.7/2 и программного обеспечения LCMS Profiler.

Закключение. Вещественный оригинал является традиционным носителем исходной изобразительной информации для полиграфического репродуцирования. Несмотря на широкое распространение цифровой фотографии и компьютерных средств создания изображений, задача оцифровки вещественных изобразительных оригиналов путем сканирования остается актуальной и в настоящее время. Для обеспечения точности цветовоспроизведения изобразительных оригиналов на этапе оцифровки необходимо использовать систему управления цветом и персональный цветовой профиль сканера. При этом применение различных вариантов контрольных шкал и версий программного обеспечения дает неидентичные результаты цветового профилирования, что обусловлено отличием контрольных шкал по количеству полей и их цветовым параметрам, а также отличием программного обеспечения в применяемом математическом аппарате и точности расчетов.

Список литературы

1. Макарова И. О. Компьютерная графика в книжной иллюстрации // Вестник Адыгейского государственного университета. Сер. 2, Филология и искусствоведение. 2011. № 4. С. 182–185.
2. Сипайло С. В. Автоматизация допечатного процесса при создании цифровых изобразительных оригиналов // Эпоха науки. 2021. № 26. С. 21–24. DOI: 10.24412/2409-3203-2021-26-21-24.
3. Машинное орнаментирование / Т. В. Кочева [и др.]. Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 1999. 160 с.
4. Сипайло С. В. Создание орнаментальных изображений с помощью встраиваемого программного модуля CorelDRAW // Труды БГТУ. Сер. IX, Издат. дело и полиграфия. 2007. Вып. XV. С. 17–20.
5. Сипайло С. В. Реализация автоматического синтеза векторных узоров в допечатном процессе на языке VBA // Труды БГТУ. 2015. № 9: Издат. дело и полиграфия. С. 125–129.
6. Сипайло С. В. Компьютерный синтез векторных изображений на основе математического описания контуров в полярной системе координат // Труды БГТУ. Сер. 4, Принт- и медиатехнологии. 2021. № 2 (249). С. 56–61.
7. Сипайло С. В. Компьютерный синтез векторных симметричных узоров на основе расширенного перечня базовых криволинейных объектов // Труды БГТУ. Сер. 4, Принт- и медиатехнологии. 2022. № 2 (261). С. 23–28.

8. Сипайло С. В. Использование нейросетей в технологическом процессе доредакционной подготовки изобразительной информации // Скоринские чтения 2023. Культура книги: традиции и новаторство: материалы VI Международ. форума, Минск, 28–30 сент. 2023 г. / под ред. В. И. Куликовича. Минск, 2023. С. 213–215.

9. Применение генеративно-состязательных нейросетей для генерации изображений / Е. В. Ильинская [и др.] // Научный результат. Информационные технологии. 2024. Т. 9, № 1. С. 73–78. DOI: 10.18413/2518-1092-2024-9-1-0-8.

10. Нюберг Н. Д. Теоретические основы цветной репродукции. М.: Советская наука, 1948. 176 с.

11. Артюшина И. Л., Винокур А. И., Митрякова О. Л. Улучшение точности цветовоспроизведения на этапе цифровой регистрации оригинала // Вестник научно-технического развития. 2019. № 8 (144). С. 3–11.

12. Домасев М. В., Гнатюк С. П. Цвет, управление цветом, цветовые расчеты и измерения. СПб.: Питер, 2009. 224 с.

13. Филд Г. Фундаментальный справочник по цвету в полиграфии. М.: ЦАПТ, 2007. 376 с.

14. Шашлов Б. А. Цвет и цветовоспроизведение. М.: Мир книги, 1995. 316 с.

15. Теория цвета и цветовоспроизведения / С. М. Назарбаева [и др.]. Алматы: Дзуир, 2014. 224 с.

16. Пухова Е. А., Вервейко А. Ю. Сопоставление цветовых охватов изображений из фотобанков с цветовыми охватами печатных процессов с целью выявления проблемных цветов при использовании таких оригиналов // Вестник Московского государственного университета печати. 2012. № 12. С. 47–52.

References

1. Makarova I. O. Computer graphics in book illustration. *Vestnik Adygeyskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Adyge State University], series 2, Philology and Art History, 2011, no. 4, pp. 182–185 (In Russian).

2. Sipaila S. U. Automation of the prepress stage when creating digital graphic originals. *Epokha nauki* [Age of Science], 2021, no. 26, pp. 21–24. DOI: 10.24412/2409-3203-2021-26-21-24 (In Russian).

3. Kocheva T. V., Chelpanov I. B., Nikiforov S. O., Ayusheva A. O. *Mashinnoye ornamentirovaniye* [Machine Ornamentation]. Ulan-Ude, BNTs SO RAN Publ., 1999. 160 p. (In Russian).

4. Sipaila S. U. Creation of ornamental images using embedded software module CorelDRAW. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series IX, Printing and Publishing, 2007, issue XV, pp. 17–20 (In Russian).

5. Sipaila S. U. Implementation automatic synthesis of vector patterns in prepress in language VBA. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 9: Printing and Publishing, pp. 125–129 (In Russian).

6. Sipaila S. U. Computer synthesis of vector images based on the mathematical description of contours in a polar coordinate system. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 4, Print- and Mediatechnologies, 2021, no. 2, pp. 56–61 (In Russian).

7. Sipaila S. U. Computer synthesis of vector symmetric tracteries based on an expanded set of basic curvilinear objects. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 4, Print- and Mediatechnologies, 2022, no. 2 (261), pp. 23–28 (In Russian).

8. Sipaila S. U. Using neural networks in the technological process of prepress preparation of graphic information. *Skorinovskiy chteniya 2023: Kul'tura knigi: traditsii i novatorstvo: materialy VI Mezhdunarodnogo foruma* [Skorinov's Readings 2023: Book Culture: Traditions and Innovations: materials of the VI International Forum]. Minsk, 2023, pp. 213–215 (In Russian).

9. Ilyinskaya E. V., Golyshcheva E. N., Medvedev A. A., Masalitin N. S. The use of generative-adversarial neural networks for image generation. *Nauchnyy rezul'tat. Informatsionnyye tekhnologii* [Research result. Information technologies], 2024, vol. 9, no. 1, pp. 73–78. DOI: 10.18413/2518-1092-2024-9-1-0-8 (In Russian).

10. Nyuberg N. D. *Teoreticheskiye osnovy tsvetnoy reproduksii* [Theoretical foundations of color reproduction]. Moscow, Sovetskaya nauka Publ., 1948. 176 p. (In Russian).

11. Artyushina I. L., Vinokur A. I., Mitryakova O. L. Improving the accuracy of color reproduction at the stage of digital registration of the original. *Vestnik nauchno-tekhnicheskogo razvitiya* [Bulletin of scientific and technical development], 2019, no. 8 (144), pp. 3–11 (In Russian).

12. Domasev M. V., Gnatyuk S. P. *Tsvet, upravleniye tsvetom, tsvetovyye raschety i izmereniya* [Color, color management, color calculations and measurements]. St. Petersburg, Piter Publ., 2009. 224 p. (In Russian).

13. Fild G. *Fundamental'nyy spravochnik po tsvetu v poligrafii* [Fundamental guide to color in printing]. Moscow, TsAPT Publ., 2007. 376 p. (In Russian).

14. Shashlov B. A. *Tsvet i tsvetovosproizvedeniye* [Color and color reproduction]. Moscow, Mir knigi Publ., 1995. 316 p. (In Russian).

15. Nazarbaeva S. M., Surashov N. T., Vavilov A. V., Elemes D. E. *Teoriya tsveta i tsvetovosproizvedeniya* [Theory of color and color reproduction]. Almaty, Deuir Publ., 2014. 224 p. (In Russian).

16. Pukhova E. A., Vervevko A. Ju. Comparison of color gamuts of images from photo banks with color gamuts of printing processes in order to identify problem colors when using such originals. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta pechati* [Bulletin of the Moscow State University of Printing], 2012, no. 12, pp. 47–52 (In Russian).

Информация об авторе

Сипайло Сергей Владимирович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры полиграфических производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: svsip@yandex.by

Information about the author

Sipaila Siarhei Uladzimiravich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Printing Production. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: svsip@yandex.by

Поступила 29.08.2024