Оглавление

Предисловие ко второму изданию **14**

Предисловие к первому изданию **16**

Введение **18**

Время управления цветом настало! 19
Проблемы управления цветом 20
Как я пришел к написанию этой книги 22
Предполагаемая аудитория 23
Организация руководства по управлению цветом 24
Терминология и сокращения 26

Благодарности **27**

1. Введение **29**

Задачи 29
1.1. Зачем нам нужно управление цветом? 29
1.2. Контроль цвета в замкнутом производственном цикле 31
1.3. Необходимость открытой системы 33
1.4. Система управления цветом 34
1.5. Рабочие процессы управления цветом 38
1.6. ICC – Международный консорциум по цвету 40
1.7. Спецификация цветов RGB и CMYK 44
1.8. Цветовые системы CIE Yxy и CIE L*a*b* 47
1.9. Преобразования цвета 48
1.10. Три кита управления цветом 50
1.11. Типы профилей 51
1.11.1. Пользовательские профили 52
1.11.2. Универсальные профили 53
1.11.3. Стандартные профили 54
1.12. Цветовые гаммы 57
1.13. Цели визуализации 59
1.14. Точность цвета 61
1.15. Рабочий процесс с поздней привязкой цвета 62
1.16. Плашечные цвета и запатентованные системы цвета 63

1.17. Преимущества управления цветом 64
1.18. Обзор главы 68

2. Законы света и цвета 71

Задачи 71
2.1. Введение 71
2.2 Источник света – объект – человек-наблюдатель 72
2.3. Электромагнитное излучение 73
2.3.1. Видимый спектр 73
2.4. Источники света 74
2.4.1. Спектральное распределение мощности источника света 74
2.4.2. Цветовая температура 77
2.4.3. Источники CIE и стандартные источники света 78
2.4.4. Просмотровые стенды 80
2.4.5. «Теплые» и «холодные» цвета 81
2.5. Измерение спектра объекта 82
2.5.1. Цвет реального образца 83
2.6. Количественная оценка цветового зрения человека 85
2.6.1. CIE стандартного наблюдателя 86
2.6.2. Трихроматическое зрение 87
2.7. Меняем источник света 89
2.7.1. Хроматическая адаптация 89
2.7.2. Желтые уличные светильники с парами натрия 91
2.7.3. Метамерия – подбираем цвет пиджака и брюк 93
2.7.4. Индикатор освещения PANTONE® D50 95
2.8. Зрение и измерения 95
2.8.1. Видим невидимое – инфракрасное излучение 96
2.8.2. Ультрафиолетовая люминесценция 97
2.8.3. Цветовые иллюзии 98
2.8.4. Моделирование восприятия цвета 99
2.9. Обзор главы 100

3. Цвет в числах 102

Задачи 102
3.1. Введение 102
3.2. Основные показатели цвета: оттенок, насыщенность и светлота 103
3.3. Колориметрическая система Манселла 105
3.4. Цветовая спецификация CIE 106
3.5. Значения тристимулов XYZ 107
3.5.1. Вычисление XYZ 107
3.5.2. Цвета XYZ образцов 109
3.5.3. XYZ источников света 109

3.6. Система CIE 1931 Yxy 111
3.6.1. Преимущества диаграммы цветности Yxy 112
3.6.2. Недостатки диаграммы цветности Yxy 113
3.7. Система CIE 1976 L*a*b* 116
3.7.1. Практические примеры L*a*b* 118
3.7.2. L*a*b* и спектральные данные 120
3.8. CIE 1976 L*C*h 121
3.9. Количественная оценка цветового различия 123
3.9.1. Вычисление ΔE 124
3.9.2. Усовершенствованные уравнения для ΔE 126
3.9.3. Какую ΔE следует использовать? 130
3.9.4. ΔE и изображения 131
3.10. Обзор главы 132

4. Измерительные приборы 134
Задачи 134
4.1. Введение 134
4.2. Типы приборов 135
4.3. Полосы фильтров приборов 136
4.4. Денситометры 137
4.4.1. Уравнение плотности 138
4.4.2. Денситометрия состояния 139
4.4.3. Плотность и контроль процесса 140
4.5. Колориметры 141
4.5.1. Колориметрия на основе фильтров 142
4.5.2. Усовершенствования в колориметрах для дисплеев 143
4.6. Спектрофотометры 144
4.6.1. Особенности и функции спектрофотометров 146
4.6.2. Широко используемый спектрофотометр X-Rite iPro 149
4.6.3. Оптические осветлители OBA и ультрафиолетовая люминесценция 150
4.6.4. Режимы измерения M0, M1, M2, M3 152
4.7. Смартфоны и другие недорогие системы 155
4.8. Межприборное и межмодельное соответствие 157
4.9. Воспроизводимость показаний прибора и их точность 158
4.10. Калибровка приборов 159
4.11. Обзор главы 162

5. Внутри профилей 163
Задачи 163
5.1. Введение 163
5.2. Спецификация профиля ICC 164

5.3. Шестнадцатеричное кодирование профиля 165
5.4. Структура профиля ICC 166
5.5. Заголовок профиля 166
5.5.1. Модуль управления цветом 167
5.5.2. Версия спецификации 168
5.5.3. Поле Class заголовка профиля 168
5.5.4. Data Color Space и PCS 170
5.5.5. Flags 172
5.5.6. Цель визуализации 173
5.5.7. Источник света PCS 173
5.5.8. Поле Profile Creator 173
5.6. Таблица тегов 174
5.6.1. Тег описания профиля 174
5.6.2. Тег первичных цветов XYZ 175
5.6.3. Тег кривой воспроизведения тона 176
5.6.4. Тег белой точки носителя 177
5.6.5. Тег хроматической адаптации 177
5.6.6. Теги LUT 178
5.6.7. Тег цели 182
5.6.8. Тег гаммы цвета 183
5.6.9. Дополнительные теги 184
5.6.10. Частные теги 184
5.7. Профили версии 2 и версии 4 185
5.8. Профили версии 5 и iccMAX 186
5.9. Как работает LUT? 187
5.10. Обзор главы 189

6. Управление цветом в цифровых камерах 191

Задачи 191
6.1. Введение 191
6.2. Профилирование сканера 192
6.2.1. Создание профиля сканера 192
6.3. От сканеров к цифровым камерам 194
6.4. Управление цветом цифровой камеры 197
6.4.1. Матрица цветных фильтров Байера 197
6.4.2. Обработка JPEG-изображения в камере 198
6.4.3. Обработка RAW в камере 199
6.4.4. Управление цветом RAW камеры 200
6.4.5. Создание профиля Camera RAW 203
6.4.6. Цифровой негатив – DNG 203
6.5. Форматы файлов для цифровых камер 205
6.5.1. Формат файлов с потерями – JPEG 205

6.5.2. Формат файлов без потерь TIFF 207
6.6. Управление цветом в студии 207
6.7. Обзор главы 208

7. Профили мониторов 211
Задачи 211
7.1. Введение 211
7.2. «Три кита» профилирования мониторов 213
7.3. Решения для профилей мониторов 214
7.3.1. Бесплатные утилиты 214
7.3.2. Коммерческое программное обеспечение для профилирования 215
7.3.3. Интегрированные решения экранной цветопробы 215
7.3.4. Мониторы с аппаратной калибровкой 216
7.4. Основы работы с монитором 217
7.4.1. Внешняя яркость и контрастность 218
7.4.2. Первичные цвета RGB 219
7.4.3. Точка белого 221
7.4.4. Гамма монитора 221
7.4.5. Уровни яркости 222
7.4.6. Эффект выцветшего желтого 223
7.5. Создание профиля монитора 225
7.6. Поверка профиля монитора 226
7.7. Профили мониторов и ОС Windows 227
7.8. Профили мониторов и веб-браузеры 228
7.9. Профили мониторов и мобильные устройства 230
7.10. Экранная цветопроба в Adobe Acrobat 231
7.11. Стандарты смотровых стендов 232
7.12. Обзор главы 233

8. Профилирование цифровой печатной машины и принтера 235
Задачи 235
8.1. Введение 235
8.2. «Три кита» в работе с принтером 236
8.3. Калибровка в струйных системах 237
8.3.1. Ограничение подачи чернил 237
8.3.2. Эффект сцепления чернил 238
8.3.3. Разделение чернил 239
8.4. Калибровка цифровых печатных машин 241
8.5. Калибровка в офсетной печати 242
8.5.1. Калибровка G7 243

8.5.2. Общий нейтральный вид в сравнении с полным цветовым соответствием ... 245
8.6. Тестовые карты принтера ... 246
8.6.1. Часто используемые тестовые карты принтера ... 247
8.6.2. Визуальная и рандомная раскладка ... 249
8.7. Печать и измерение тестовой карты ... 250
8.7.1. RGB, CMYK или полутоновый принтер? ... 250
8.7.2. Печать в режиме «Без управления цветом» ... 253
8.7.3. Выкладка тестовой карты для различных измерительных приборов ... 254
8.7.4. Белая основа ... 256
8.7.5. Проверка файла данных измерений ... 256
8.7.6. Усреднение результатов измерений ... 257
8.8. Создание профиля принтера ... 258
8.8.1. Генерация черного канала ... 258
8.8.2. Качество профиля ... 261
8.9. Проверка профиля принтера ... 262
8.9.1. Количественная проверка ... 262
8.9.2. Качественная проверка ... 264
8.10. Эталонные условия печати ... 266
8.10.1. Разработка эталонных условий печати ... 266
8.10.2. Американские и европейские эталонные условия печати ... 268
8.10.3. Использование эталонных условий печати в допечатной подготовке и печати ... 270
8.10.4. «Печать по числам» ... 272
8.11. Цели визуализации ... 273
8.11.1. Перцептивная цель визуализации ... 275
8.11.2. Относительная колориметрическая цель визуализации ... 276
8.11.3. Абсолютная колориметрическая цель визуализации ... 277
8.11.4. Цель высокой насыщенности ... 278
8.12. Рабочий процесс в сети связанных между собой устройств ... 279
8.12.1. Связь устройств в ICC ... 279
8.12.2. Патентованное решение связи устройств ... 280
8.13. Контроль процесса печати ... 281
8.14. Обзор главы ... 284

9. Плашечные цвета и печать с расширенной цветовой гаммой ... 286

Задачи ... 286
9.1. Введение ... 286
9.2. Плашечные цвета – PANTONE MATCHING SYSTEM® ... 290
9.2.1. Справочники PANTONE ... 291

9.2.2. Цифровые библиотеки цветов Pantone 293
9.2.3. Рецептуры смесей красок PANTONE 295
9.2.4. Преимущества и недостатки системы PMS 296
9.3. Печать плашечных цветов 298
9.3.1. Печать цветной плашечной краской 298
9.3.2. Имитация плашечного цвета в CMYK 300
9.4. Плашечные цвета и цифровые печатные машины 302
9.4.1. Создание набора образцов на цифровой печатной машине 302
9.4.2. Согласование плашечных цветов в цифровых печатных машинах 303
9.4.3. Редактор плашечных цветов для цифровой печатной машины 305
9.5. Печать с расширенной цветовой гаммой 306
9.6. Программные решения для плашечных цветов и печати с расширенной цветовой гаммой 309
9.6.1. Предупреждение о гамме в Adobe Photoshop 309
9.6.2. Использование PANTONE Color Manager 310
9.6.3. Преобразование цвета с помощью Esko Equinox 311
9.6.4. Расчет гаммы в Esko Color Engine Pilot 312
9.7. Обзор главы 313

10. XML и управление цветом 316

Задачи 316
10.1. Введение 316
10.2. Языки разметки 317
10.3. Принципы разработки XML 318
10.4. Основы XML 319
10.4.1. Заголовок 319
10.4.2. Элементы 320
10.4.3. Атрибуты 321
10.4.4. XML Schema 321
10.4.5. Пользовательские документы schema 322
10.4.6. Валидация и соответствие 323
10.5. Работа с XML 324
10.5.1. iccMAX 325
10.5.2. Windows Color System (WCS) 325
10.5.3. Формат обмена цветами CxF 327
10.5.4. X-Rite i1Profiler 329
10.5.5. JDF 330
10.6. «Не лучшие» практики XML 331
10.7. Обзор главы 332

11. Управление цветом в Photoshop 334
Задачи 334
11.1. Введение 334
11.2. Photoshop – годы пути 335
11.3. Правила управления цветом в Photoshop 337
11.3.1. Правило 1: изображение + профиль 338
11.3.2. Правило 2: профиль – пространство соединений – профиль 338
11.3.3. Правило 3: реальные преобразования и их симуляции 339
11.4. Рабочее пространство Photoshop 339
11.5 Меню в Photoshop 340
11.5.1. Открываем изображение 340
11.5.2. Статус изображения 342
11.5.3. Настройки цвета 344
11.5.4. Присвоение профиля 346
11.5.5. Преобразование в профиль 347
11.5.6. Настройка экранной цветопробы 350
11.6. Photoshop и печать 352
11.6.1. Настройки печати в Photoshop 352
11.6.2. Печатная цветопроба 353
11.7. Собираем все вместе 354
11.8. Обзор главы 356

А. Приложение 359

Предметный указатель 367

Предисловие ко второму изданию

Первое издание книги «Технология управления цветом» стало доступным и практичным введением в тему. С момента выхода первого издания в области цветовоспроизведения многое изменилось. Развилось много новых направлений – появились новые промышленные технологии, изменились запросы потребителей, научно-технический подход к программной среде, а также архитектура управления цветом и формат ICC профилей. Теперь пользователи имеют более детальное представление о процессе управления цветом. Международные стандарты, разработанные Техническим комитетом по технологии цветной печати ISO TC 130 Graphic Technology, помогли установить и поддерживать надлежащую практику в отрасли. Процедуры рабочего процесса, основанные в основном на использовании формата файлов PDF/X, стали более сложными и более надежными в плане удовлетворения ожиданий пользователей. Значительно изменились программные приложения, используемые в управлении цветом, как уже ставшие общеупотребительными, так и специализированные приложения и инструменты. Исследования, опубликованные на основных научных и технических конференциях и в журналах, продолжают развивать наши знания о целях и требованиях управления цветом. Можно сказать, что управление цветом превратилось из нишевой области в стабильную и предсказуемую часть ландшафта технологии печати. Однако по мере решения старых проблем появляются новые, и мы еще очень далеки от того, чтобы сделать цвет полностью «бесшовным» между устройствами и документами, как того добивается ICC.

Новое издание идет в ногу с этими изменениями, и те, кто знаком с первым изданием, найдут в настоящем издании много нового. Материалы по хроматике были обновлены, а раздел по измерительным приборам и колориметрии значительно расширен и включает материал по таким темам, как воспроизводимость и калибровка, а также описание режимов измерения, стандартизированных в ISO 13655. Формат профиля ICC разобран подробно, с описанием каждого из основных элементов и тегов. Обсуждаются преимущества работы с форматом v4, впервые представленным в 2001 году, и описывается новейшая технология ICC – iccMAX.

Возможно, ядром книги с тем содержанием, которое будет представлять наибольший интерес для читателей, является подробное описание практического управления цветом для каждого из основных типов цветных устройств – фотокамер, дисплеев и принтеров. Ключевые темы, которые обсуждались в отрасли в течение последнего десятилетия, рассматриваются и подробно освещаются, а читателю дается объяснение, как заставить управление цветом работать и добиться хорошего качества воспроизведения цвета.

Сильной стороной данного издания является уникальное сочетание доступного, но в то же время подробного описания контекста управления цветом

в полиграфии и практических рекомендаций по его внедрению. Как бывший председатель рабочей группы в ICC и нынешний представитель университета Райерсона в ICC, доктор Шарма находится в позиции, позволяющей ему хорошо оценить все сложности управления цветом и его использования сегодня. Он проделал отличную работу, чтобы донести до читателя самое необходимое.

Д-р Фил Грин,
Норвежский университет науки и технологии, Гьовик, Норвегия,
Технический секретарь ICC,
2017

Предисловие к первому изданию

Управление цветом позволяет пользователям контролировать и регулировать цвет при воспроизведении изображений на различных устройствах и носителях. Таким образом, его важность возрастает во многих отраслях промышленности. Взрывной рост объема цветовоспроизведения и, что более важно, количества людей, занимающихся воспроизведением цветных изображений на различных носителях, является одной, но не единственной причиной его важности.

Растущий спрос на упрощение процессов цветовоспроизведения, безусловно, сделает эти процессы более доступными, с минимальной подготовкой, для тех, кто в них нуждается. Это также повысит производительность и автоматизацию в отраслях, связанных с цветовоспроизведением, таких как полиграфия и издательское дело. Традиционные методы цветовоспроизведения, которые требовали определенной степени мастерства для достижения высокого качества, не потеряли значение полностью – и, вероятно, никогда полностью его не потеряют. Однако относительно неквалифицированные пользователи могут значительно улучшить качество воспроизведения в своих проектах, применяя управление цветом. Аналогичным образом производительность и качество работы опытных пользователей могут быть значительно повышены.

К сожалению, управление цветом не является тривиальной темой для понимания. Управление цветом обычно основано на профилях, соответствующих международной принятой спецификации профилей ICC[1]. Поэтому оно опирается на достаточно продвинутые положения науки о цвете и обработки изображений. Более того, оно зависит от понимания способов управления различными устройствами, участвующими в воспроизведении цвета. Это затрудняет поиск необходимой информации для неквалифицированного специалиста, желающего понять, как работает управление цветом (и что делать, если что-то пошло не так). Можно найти различные статьи на эту тему (например, на сайте ICC), но такие статьи либо поверхностно освещают тему, либо освещают только отдельные ее вопросы.

Для тех, кто не имеет навыков в области цветоведения и обработки изображений, требуется больше информации, если они хотят понять предмет настолько, чтобы решить, что необходимо для улучшения качества и согласованности цветовоспроизведения.

В этой книге довольно сложный предмет изложен в форме, понятной для тех, кто ищет основательного введения в предмет. Она должна понравиться студентам и тем, кто занимается цветовоспроизведением случайно или профес-

---

[1] Профиль ICC представляет собой набор данных, характеризующих цветовоспроизведение устройства ввода или вывода, или цветовое пространство, в соответствии со стандартами, принятыми Международным цветовым консорциумом (ICC). – *Прим. ред.*

сионально. Введение в «науку» цветовоспроизведения не является чрезмерно сложным, а обсуждение ее практики носит практический характер. В книгу включены полезные советы по решению проблем. Таким образом, книга будет полезна всем начинающим пользователям и тем, кто хочет расширить свои знания путем углубленного изучения науки о цвете и визуализации. Проработав более тридцати лет в этой профессии, я считаю цветовоспроизведение увлекательным и рекомендую его как приятное занятие. Данная книга станет отличным первым шагом на этом пути.

Тони Джонсон,
Лондонский колледж печати, Лондон, Англия,
Технический секретарь ICC,
2004

Введение

В последнее время наблюдается огромный рост использования цвета, а также количества и диапазона устройств, применяемых для его воспроизведения. В настоящее время широко используются цифровые камеры, LCD или LED-дисплеи, струйные принтеры и программное обеспечение для редактирования изображений, типа Photoshop. Смартфоны способны делать снимки с высоким разрешением. В коммерческой печати произошел ряд изменений; теперь вместо традиционного пробного оттиска на Kodak Approval цветопробу можно напечатать и на простом струйном принтере или даже просматривать ее на мониторе, без печатания копии.

Экспоненциальный рост доступных и качественных устройств цветной печати означает, что цветная печать теперь доступна среднему пользователю, – можно сказать, что цвет «вышел в люди». Теперь каждый из нас может взять на себя ответственность за управление цветом, что создает необходимость в создании некой удобной, общедоступной среды управления цветом. Единый подход, поддерживаемый всеми производителями, обеспечивает Международный цветовой консорциум (ICC). Организация ICC является руководящим органом управления цветом. Эта книга посвящена теме «Управление цветом ICC».

Управление цветом – это способ контролировать цвет в цифровой обработке изображений с помощью программного обеспечения, аппаратных средств и стандартных процедур. Несмотря на то что управление цветом существует уже ряд лет, для многих пользователей эта тема остается непонятной. Она окружена атмосферой таинственности; многие из нас не знают, какие настройки цвета необходимо использовать в данной ситуации и что означают все эти непонятные термины. Мы тратим много времени и материалов, пытаясь добиться правильной цветопередачи. Цвет зачастую становится одной из самых неприятных и раздражающих сторон цифровой обработки изображений.

Цель книги «Управление цветом» – представить простое, но всеобъемлющее введение в тему, чтобы способствовать пониманию и правильному использованию этой технологии. Эта книга представляет собой хорошо иллюстрированный, исчерпывающий источник информации для всех, кто хочет создать и использовать профили для цифровых камер и мониторов, а также понять управление цветом для получения цветопробы и в печати. Текст содержит достаточно технических и теоретических объяснений, чтобы вы могли понять природу цвета и создать успешные рабочие процессы для его прецизионного контроля.

Владение технологией управления цветом дает ряд преимуществ, позволяющих экономить время и средства. Данное пособие рассказывает о принципах и практических сторонах этой незаменимой технологии. Как только вы поймете, как работает управление цветом, вы придете в восторг – и больше не вернетесь к старому способу работы!

Время управления цветом настало!

История управления цветом была неоднозначной, как показано на рис. 1. На выставках в начале 2000-х годов каждый производитель демонстрировал свое решение для управления цветом; в то время технология не была готова к началу продаж и было много «*завышенных ожиданий*».

Рис. 1. Эволюцию управления цветом можно проследить с помощью цикла Gartner Hype Cycle для технологических инноваций

В соответствии с циклом Gartner Hype Cycle (рис. 1) ранние истории о пробных концепциях и интерес СМИ вызвали значительную огласку темы. Часто не существовало никаких пригодных для использования продуктов, а коммерческая жизнеспособность других была не очевидна. В самом начале было не ясно, как следует использовать управление цветом. Проблемы и их решения не были четко определены. Технология находилась в зачаточном состоянии, и производители программного обеспечения, оборудования и пользователи экспериментировали с различными подходами и конфигурациями. Интерфейсы многих первых продуктов были сложными и неинтуитивными. Из-за этого ранний процесс освоения этой новой технологии был трудным, а результаты часто были неудовлетворительными и непредсказуемыми.

После периода завышенных ожиданий наступила «*впадина разочарования*». Это было очень мрачное время для отрасли управления цветом. Продукты и процессы управления цветом получили дурную славу, и возникло общее ощущение, что управление цветом не работает и слишком сложно для общего использования.

В период, который называют «*подъемом просвещения*», пользователи поняли, что для того, чтобы управление цветом работало, необходимо установить некоторые стандартные процедуры, а также измерительное оборудование и программное обеспечение для контроля, производить измерения и мониторинг. Еще необходимо обучать и тренировать персонал. Постепенно управление цветом вновь обрело свой статус.

Сегодня, после испытания реальной практикой, управление цветом достигло стабильного «*плато продуктивности*». В настоящее время существуют реалистичные ожидания в отношении управления цветом; есть четкое понимание того, что управление цветом может и чего не может сделать. Управление

цветом не может само достичь совершенства, но оно может быстро и последовательно приблизить нас к нему. Обратите внимание, что уровень *плато продуктивности* (который представляет собой текущее состояние отрасли) намного ниже, чем первоначальный пик завышенных ожиданий. Мы наблюдаем, что уровень текущего плато ниже, но он является реалистичным и достижимым.

Это плато представляет текущее поколение продуктов для управления цветом, которые действительно являются готовыми решениями для рынка. Разработки и усовершенствования продолжаются, но мы достигли стадии, когда управление цветом представляет собой стабильное, надежное решение. Системы управления цветом и программное обеспечение развиваются, осваивая новые области, такие как спектральная обработка цвета или печать с расширенным цветовым диапазоном, однако основные принципы остаются неизменными. Можно сказать, что последние изменения в управлении цветом были *эволюционными*, а не *революционными*, поскольку мы движемся по плато.

Произошло большое улучшение качества и удобства пользования программным обеспечением, появились более дешевые и качественные инструменты, достигнута лучшая совместимость между программным и аппаратным обеспечением и лучшая интеграция во всей индустрии допечатной подготовки и обработки изображений. Технология стала более зрелой, пользователи лучше информированы, программное обеспечение доступно по цене, а результаты намного, намного лучше. Никогда еще не было лучшего времени, чтобы заняться управлением цветом, и, как результат, сегодня мы наблюдаем устойчивый рост внедрения решений по управлению цветом рекламными агентствами, допечатными цехами, фотографами, редакторами, типографиями и печатниками.

Сложные системы, переменчивые результаты и завышенные ожидания сильно мешали раннему внедрению управления цветом, однако сейчас технология готова; готовы ли вы?

Проблемы управления цветом

Несмотря на прогресс, достигнутый в технологии управления цветом, остаются некоторые проблемы, с которыми сталкивается современный пользователь.

Причина, по которой над управлением цветом приходится работать больше, чем над другими современными технологиями, заключается в том, что оно не является основным видом деятельности многих компаний-производителей и, следовательно, не входит в список их приоритетов. Различные компании занимаются цифровыми камерами, принтерами и устройствами для цветопроб, имеют крупные информационные системы управления и системы документооборота, а также большие печатные машины. Часто их производители не выделяют ресурсы на разработку и внедрение систем управления цветом, поскольку эта область часто рассматривается как побочная, вспомогательная часть работы. Аналогично, со стороны потребителя, даже после совершения крупной покупки оборудования, они не будут вкладывать дополнительные средства в управление цветом. Поэтому, несмотря на очевидный возврат инвестиций, и производители, и потребители склонны игнорировать управление цветом.

В отрасли произошла перетряска, некоторые компании закрылись, другие были приобретены более крупными организациями, а некоторые перешли в иные области деятельности. Это означает, что многие из существующих решений по управлению цветом унаследовали смешанный код. Небезызвестное любимое блюдо американцев на День благодарения называется «турдакен» – это курица, засунутая в утку, засунутую в индейку. Все основные решения по управлению цветом, представленные сегодня на рынке, являются «турдакен-решениями», что иногда делает плохую услугу пользователю.

Из-за произошедших слияний в отрасли производители часто предлагают управление цветом в виде набора различных продуктов. Вместо того чтобы предлагать единый продукт, компании предлагают несколько отдельных продуктов под зонтиком единой торговой марки. Как правило, результаты работы одной системы являются входными данными для другой. Отсутствие единого, специально разработанного решения приводит к путанице у конечного пользователя и даже у представителей компании, которые консультируют и продают эти комплексные решения.

Плохой дизайн и неинтуитивный пользовательский интерфейс программного обеспечения продолжают оставаться проблемой. Например, спецификация ICC описывает процесс преобразования цвета, известный как цель визуализации (rendering intent). Официальное название одной из целей визуализации – «relative colorimetric» (относительная колориметрия), но один из ведущих производителей предлагает выпадающее меню для этой цели визуализации под названием «Full (Output GCR)». Как пользователь должен угадать relative colorimetric в Full (Output GCR)? В другом примере ведущая компания по созданию цветных изображений имеет диалоговое окно с надписью «CIE Illuminant D50K». Важное различие, объясненное в этом тексте, заключается в том, что Illuminant D50 и 5000K – это две отдельные спецификации, не существует такого понятия, как «Illuminant D50K»!

Эти примеры показывают, что программное обеспечение для управления цветом обычно очень неудобно в работе. Хороший дизайн программного обеспечения и элегантный пользовательский интерфейс, к сожалению, не являются свойством современных программных приложений этой области. Сегодня пользователь обязан знать, чего он хочет достичь и как он хочет этого достичь, должен стремиться к достижению своих целей, продираясь сквозь интерфейсы программ управления цветом.

Извечная проблема управления цветом заключается в том, что эта технология пытается удовлетворить две очень разные аудитории – потребителя, который хочет автоматического управления цветом, и коммерческого пользователя, который хочет настраивать, регулировать и контролировать каждый этап процесса обработки изображений. Используя автомобильную аналогию, обычный потребитель хотел бы иметь автомобиль с автоматической коробкой передач с двумя педалями, акселератором и тормозом. Однако профессионалы предпочитают автомобиль с механической коробкой передач, с возможностью разгоняться на низших передачах, контролировать обороты двигателя и использовать двигатель для торможения.

В автосалоне вы можете выбирать между автомобилями с автоматической или ручной коробкой передач, в управлении цветом существует только одно

решение – «один размер на всех». Это означает, что управление цветом часто оказывается слишком сложным для обычного пользователя и слишком «тупым» для профессионалов. Задача заключается в том, чтобы оба лагеря были довольны, хотя иногда кажется, что решения падают между двумя стульями и обе стороны остаются недовольны.

Основная проблема в управлении цветом заключается в том, что наука о цвете, лежащая в основе этого процесса, несовершенна. Цвет воспринимается зрительной системой «глаз–мозг», и наша реакция на цвет зависит от ряда факторов, включая такие разные вещи, как освещение в помещении, то, какие предметы находятся в поле зрения, а также настроение или возраст наблюдателя. Таким образом, цвет – это очень сложный феномен, и существует множество нюансов в том, как человек воспринимает цвет.

Для управления цветом мы используем ряд систем измерения цвета, но ни одна из них не способна обеспечить точную корреляцию с человеческим зрением. Поскольку системы управления цветом построены на этих неточных основах, иногда что-то не срабатывает, и мы не получаем ожидаемых цветов. Наука о цвете не стоит на месте, в ней постоянно происходят усовершенствования, и в тексте описан ряд новых подходов к измерению цвета. В целом, однако, большинство проблем с управлением цветом вызвано ошибками пользователей и неправильными настройками или неверно организованными процессами, а последствия несовершенств, лежащих в основе науки о цвете, играют роль только в отдельных случаях.

Как я пришел к написанию этой книги

В течение нескольких лет я работал старшим инженером в исследовательской группе Colour & Imaging Technology в компании FujiFilm Electronic Imaging, Великобритания (которая раньше называлась Crosfield Electronics). Там я занимался разработкой алгоритмов и программного обеспечения для управления цветом ICC. Семя для этой книги было посеяно в дни моей работы в FujiFilm, и в ее основу легли не только задания, которые меня просили выполнить, но и то, что меня часто таскали из исследовательских лабораторий в учебный отдел, чтобы сделать презентации для наших инженеров, дистрибьюторов и клиентов, о философии и преимуществах управления цветом. Многие идеи и аналогии разработанные на тех ранних учебных занятиях, развились и нашли свое отражение в этом тексте.

Я выступал с лекциями о различных сторонах управления цветом по всему миру на многочисленных выставках, конференциях, симпозиумах и краткосрочных курсах. Во время этих выступлений меня неоднократно просили порекомендовать хорошую книгу по данной теме. Я никогда не мог дать удовлетворительный ответ, потому что выбор был только между толстыми томами технической литературы или литературой, имеющей своей целью рекламу производителей.

Я преподавал курсы по управлению цветом в Западном Мичиганском университете, включая IMAG 157 Imaging Systems и IMAG 357 Digital Color Imaging. Сейчас я преподаю курс GCM 360 «Управление цветом для графических коммуникаций» в Университете Райерсона. Не существует книг или пособий, в ко-

торых были бы собраны все необходимые объяснения, изображения и прочая информация для обучения управлением цвета. Я постоянно ссылался то на страницы одной книги для объяснения какой-нибудь темы, то направлял студентов на веб-сайт для получения информации о другой, то использовал буклеты производителей для третьей. Информации очень много, но она разбросана по интернету, в технических документах и в отдельных главах книг. Не было ни одного текста, который отвечал бы моим потребностям как преподавателя и содержал материал, доступный для широкого пользователя.

Я понял, что обладаю уникальным сочетанием навыков: у меня есть производственный опыт, полученный за годы работы в FujiFilm, и я педагог, способный объяснять сложные понятия с помощью простых аналогий. Я понял, что нахожусь в уникальном положении, чтобы объяснить управление цветом. Стало ясно, что единственным верным решением было написать книгу самому. Thomson Delmar опубликовал первую версию этой книги в 2004 году, а John Wiley & Sons, совместно с IS&T, опубликовал это обновленное и полностью переработанное второе издание в 2018 году.

Предполагаемая аудитория

Поскольку управление цветом – это новая технология, у нас нет специалистов, которые учились бы этому в школе. Пока у нас не появится новое поколение выпускников колледжей и университетов, разбирающихся в цвете, у нас будет много специалистов, для которых управление цветом – это что-то новое, то, что появилось в течение их карьеры. Таким образом, мы имеем огромный спрос на переподготовку специалистов на рабочем месте.

Книга будет полезна таким специалистам, как цифровые фотографы, дизайнеры, художники компьютерной графики, менеджеры по производству, закупщики печатной продукции, операторы допечатной подготовки, печатники, сотрудники отдела исследований и разработок, консультанты по управлению цветом, преподаватели и многие другие, чья работа связана с цифровым цветом. Эта книга также представляет интерес для людей, работающих в компаниях, производящих полиграфические красители и бумагу.

Важно, чтобы колледжи и университеты ввели курсы по управлению цветом, чтобы следующее поколение выпускников чувствовало себя уверенно в этой новой технологии. Эта книга предназначена для использования в программах бакалавриата, магистратуры и для научных исследований в области цифровой цветопередачи, фотографии, цветоведения, компьютерной графики, графического дизайна, коммуникаций, мультимедиа, допечатной подготовки и полиграфии.

Необходимо потратить некоторое время на создание системы управления цветом. Как внедрять систему управления цветом – решать вам. Вы можете делать это поэтапно, заменяя по одной части существующей системы, или создать систему управления цветом параллельно с существующей практикой. Возможно, вы сможете назначить одного человека в вашей компании ответственным за весь процесс, и этот человек установит рабочие процедуры для других сотрудников. Какой бы метод вы ни выбрали, вы обнаружите, что первоначальные инвестиции в эту технологию многократно окупятся

преимуществами и выгодами, которые дает эта система. Какой бы путь вы ни выбрали, образование и знания являются ключевыми компонентами любого успешного внедрения системы управления цветом.

Организация руководства по управлению цветом

В этой книге меньше внимания уделяется пошаговым инструкциям, использованию меню и команд из конкретных приложений. Это не упущение, а продуманная стратегия по целому ряду причин. Важнее передать общие принципы управления цветом, чем инструкции по конкретным устройствам и программному обеспечению. Предположим, вы учите кого-то водить машину. Вы можете сказать на Ford Explorer: «Переместите рычаг возле левой стороны рулевого колеса, чтобы переместить боковое зеркало наружу». Это очень специфично для конкретной марки и модели и относится только к владельцам Ford Explorer. Было бы полезнее, если бы мы сказали: «Отрегулируйте боковое зеркало, чтобы обеспечить четкий обзор боковой и задней части автомобиля». Важнее понять результат процедуры, чем то, как он достигается в конкретном случае.

Другая причина, по которой в данном тексте не рассматриваются рабочие процессы, основанные на конкретном программном обеспечении и конкретных устройствах, заключается в том, что программное обеспечение постоянно обновляется, и примеры из существующих на данный момент версий быстро устаревают. Наконец, при таком количестве возможных комбинаций программного обеспечения и устройств невозможно удовлетворить запросы каждого пользователя, поэтому в тексте используются реальные примеры, но больше внимания уделяется объяснениям и процедурам.

Темы этой книги упорядочены таким образом, что первые главы развивают фундаментальные принципы и знакомят читателя с основами науки о цвете; дальнейшие главы посвящены приложениям и практическому управлению цветом с помощью различных реальных типов устройств. Если вы опытный пользователь, то можете читать текст выборочно, по мере необходимости, в то время как новичкам будет полезно последовательно изучить весь материал.

Данный текст предполагает очень мало предварительных знаний. Однако знакомство с элементарными компьютерными операциями (такими как открытие файла, его сохранение и печать) будет полезным. Технический опыт не требуется, но умение работать с цифровыми изображениями, такими как файлы TIFF и JPEG, а также файлами PDF будет полезно.

В главе 1 «Введение» рассказывается об управлении цветом. В этой главе объясняется, зачем нужно управление цветом, и дается простое описание того, как оно работает. В главе дается полный обзор предмета и раскрываются такие темы, как цветовое пространство L*a*b*, тестовые мишени IT8, программное обеспечение для профилирования, Международный цветовой консорциум (ICC) и рабочие процессы RGB и CMYK. Глава 1 является обязательной для прочтения, поскольку многие последующие главы в ней рассматриваются в контексте. На протяжении всей этой главы мы отмечаем темы, которые появятся в книге позже.

Глава 2 «Законы света и цвета» посвящена феноменам света, цвета и зрительного восприятия человека. В этой главе объясняется, как мы видим цвет,

показывается, как цвет объекта может меняться в зависимости от цвета источника света. В этой главе дается определение источников света CIE, таких как D50 и D65, а также описываются такие эффекты, как хроматическая адаптация и метамерия.

Глава 3 «Цвет в числах» знакомит со спецификацией цвета на основе CIE. Главное внимание здесь уделяется описанию основных систем спецификации цвета, используемых в управлении цветом, а именно XYZ, Yxy и L*a*b*. В этой главе показано, как измерить разницу между цветами с помощью ΔE.

В главе 4 «Измерительные приборы» дан обзор ассортимента различных устройств, представленных сегодня на рынке. Существует широкий спектр колориметров и спектрофотометров, и на рынке появилось много новых приборов на базе iPhone. В этой главе описаны различные категории приборов, кратко описано, как они работают и как выбрать прибор, соответствующий вашим потребностям, включая важный режим измерения M1.

В главе 5 «Внутри профилей» рассматривается содержимое профиля. В этой главе рассматриваются программы – инспекторы профилей, которые можно использовать для изучения заголовка и тегов профиля. Принцип, который является основополагающим в управлении цветом, – это LUT[1]. LUT объясняются на примере реального устройства. Некоторые темы главы 5 адресованы опытному пользователю или пользователю, интересующемуся управлением цветом «изнутри».

В главах 6, 7 и 8 рассматриваются профили цифровых камер, мониторов и принтеров соответственно. В каждой главе описывается процесс создания и использования профилей этих устройств. Глава 6 «Управление цветом для цифровой камеры» также включает раздел о профилировании сканера. Глава 7 «Профили мониторов» охватывает настольные компьютеры, ноутбуки и LCD или LED-дисплеи[2], а также веб-браузеры и планшетные устройства. Глава 8 «Профилирование цифровых печатных машин и принтеров» – это обширная глава, в которой рассматривается калибровка устройств, эталонные условия печати и вопросы, связанные с профилированием настольных принтеров и коммерческих печатных машин.

Глава 9 «Плашечные цвета и печать с расширенной цветовой гаммой» – это новая глава, впервые появившаяся во втором издании, которая знакомит с рабочими процессами Spot Color и Expanded Gamut.

Глава 10 «XML и управление цветом» рассматривает использование языка XML в приложениях для управления цветом.

Глава 11 «Управление цветом в Photoshop» представляет собой руководство по настройкам и управлению цветом в этой популярной программе. Здесь объясняются некоторые основные принципы работы с цветом в Photoshop и других программах Adobe, а также приводится очень полезная общая инструкция по работе. В этой главе приводится пример полного рабочего процесса управления цветом от цифрового захвата до просмотра и печати. Adobe Photoshop

---

[1] Look Up Table, по своей математической сути эта «таблица поиска» является «матрицей преобразования». – *Прим. ред.*

[2] В дальнейшем – просто «дисплеи»; когда речь идет о дисплеях с электронно-лучевой трубкой, это оговаривается особо. – *Прим. ред.*

представляет собой превосходную реализацию управления цветом и правильное использование терминологии ICC; он является прекрасным примером для демонстрации полного процесса управления цветом.

Терминология и сокращения

L*a*b* – это метрика цвета, записываемая в виде трех чисел, например (52; 45; 67). Система L*a*b* была утверждена Международной комиссией по освещению (CIE) в 1976 году и официально известна как CIE 1976 L*, a*, b* с официальной аббревиатурой CIELAB (произносится «си-лаб»). Исторически сложилось, что существуют различные версии Lab, такие как Hunter Lab и Adams-Nickerson Lab. Для того чтобы отличаться от этих других версий Lab, в официальной версии CIE используются звездочки – L*, a*, b*; произносится «эл-стар, эй-стар, би-стар». Для ясности и краткости мы используем этот неофициальный синтаксис в данном тексте – L*a*b*.

ΔE происходит от греческой буквы Δ («дельта»), которая обычно применяется в научной литературе для обозначения разницы между величинами. Буква «E» происходит от немецкого слова «empfindung», означающего разницу в ощущениях. Таким образом, обозначение ΔE произносится как «дельта E» и означает метрику цветовой разницы между двумя образцами. Существуют различные версии ΔE, такие как ΔE^*_{ab}, ΔE_{CMC}, ΔE^*_{94} и CIEDE2000. На протяжении всей книги используется сокращенное, но неофициальное обозначение ΔE, а по умолчанию, если не указан конкретный метод, принимается CIEDE2000.

Иногда в тексте приводится цена товара или услуги, используемая валюта обозначается символом $ и относится к долларам США.

Во всем тексте применяется американское написание слова «цвет», мы используем «color», а не «colour», за исключением названий компаний или названий документов, например *ISO 12646 – Graphic technology – Displays for colour proofing*.

Управление цветом более или менее не зависит от компьютерной платформы. Однако я являюсь пользователем Mac, и когда я писал эту книгу, то работал с операционной системой macOS X, поэтому большинство примеров и иллюстраций основаны на ней. Тем не менее положения, развиваемые в тексте, применимы не только к пользователям Mac, но в той же мере и к пользователям Windows. Прочитать книгу и следовать идеям, развитым в этом тексте, и реализовывать их смогут читатели любых предпочтений.

1

Введение

Задачи

- Объяснить и дать определение, что такое управление цветом.
- Описать старый, замкнутый цикл управления цветом.
- Охарактеризовать деятельность Международного цветового консорциума (ICC).
- Описать «трех китов» управления цветом – калибровку, характеризацию и преобразование.
- Представить цветовые пространства RGB, CMYK, а также Yxy и L*a*b*.
- Представить типичные рабочие процессы управления цветом.
- Описать преимущества применения управления цветом.

1.1. Зачем нам нужно управление цветом?

Что такое управление цветом и зачем оно нам нужно? Почему мы не можем просто взять цифровую камеру и сделать снимок, просмотреть изображение на дисплее, распечатать его и получить полное совпадение цветов? Ответ заключается в том, что каждое устройство захвата, обработки и воспроизведения изображений отличается от других устройств, и каждое имеет свои особенности.

Чтобы понять характеристики устройства, рассмотрим аналогию – приготовление попкорна в микроволновой печи, рис. 1.1. Путем проб и ошибок можно определить, что домашней микроволновой печи требуется, скажем, ровно две минуты, чтобы вздулись все зерна, без подгорания. Однако для офисной микроволновой печи большей мощности две минуты – это слишком много, поэтому время приготовления следует скорректировать и сократить до полутора минут. В студенческой квартире при использовании слабой мини-микроволновки для создания идеальной степени готовности требуется три минуты. Во всех случаях мы можем добиться одного и того же результата – идеально пропеченного пакетика попкорна, – но мы должны скорректировать время приготовления с учетом мощности и настроек каждой микроволновой печи, другими словами, характеристик каждого устройства.

В цифровой обработке изображений у нас может быть изображение с желтым лимоном, рис. 1.1. Мы пытаемся создать этот желтый цвет на разных устройствах. Каждый принтер печатает по-разному, с разными чернилами или тонером, и каждое устройство может использовать разные носители. Чтобы создать этот желтый цвет на разных устройствах, мы должны учитывать характеристики каждого устройства.

Рис. 1.1. Попкорн требует разного времени приготовления в разных микроволновых печах. Точно так же разные системы печати требуют разных пиксельных инструкций – управление цветом заключается в создании разных инструкций для получения одного и того же цвета на разных устройствах

Точно так же, как мы корректируем время приготовления попкорна с учетом особенностей каждой микроволновой печи, мы должны корректировать инструкции по печати с учетом особенностей каждой системы печати.

Количество краски выражается в процентах, например 40 %, 50 %, 60 % и т. д. (В данном контексте % – это просто количество, а не процент.) На рис. 1.1 струйный пробник может потребовать 80 % желтой краски, в то время как широкоформатный принтер может иметь очень насыщенную желтую краску, поэтому для создания того же цвета ему может потребоваться только 76 %. Цифровая печатная машина может потребовать 89 % желтого тонера для создания того же лимонно-желтого цвета.

Таким образом, мы видим, что для получения одного и того же цвета на разных устройствах необходимо посылать разные инструкции каждому из них. В случае с попкорном проще всего определить необходимое время приготовления методом проб и ошибок, но для изображения нужен более сложный подход, поскольку мы должны учитывать не только желтый, но и зеленый, синий, оранжевый и все другие цвета, которые могут присутствовать в изображении. И конечно, мы должны расширить этот процесс за пределы принтеров и включить любое устройство в систему цветного изображения, включая изображения, просматриваемые в веб-браузере или на планшетном устройстве, отпечатанные на офсетной печатной машине и т. д. *Управление цветом – это технология, которая позволяет вычислять соответствующие инструкции для пикселей на каждом устройстве.*

Управление цветом – это цифровая технология, которая может быть использована для вычисления инструкций для конкретного устройства и, таким образом, для управления цветом при передаче между различными устройствами в системе обработки изображений. *Управление цветом определяется*

как использование аппаратных средств, программного обеспечения и процессов для управления и настройки цвета на различных устройствах в системе обработки изображений.

Управление цветом – это не просто технология, это не физический предмет на полке магазина, который можно пойти и купить, управление цветом – это системы, процессы, программное обеспечение, измерительные приборы, это целая философия, систематическая основа для управления цветом – это образ жизни!

В этой главе дается введение в управление цветом, что это такое и как оно работает.

1.2. Контроль цвета в замкнутом производственном цикле

Фундаментальная проблема цветного изображения заключается в том, что каждое устройство ведет себя по-разному, что означает, что мы не можем посылать одинаковые значения пикселей на разные устройства; мы должны корректировать значения пикселей, чтобы они подходили для каждого устройства. Существует два способа внесения таких корректировок: традиционный способ называется *замкнутый цикл цвета*, а новый – *открытый цикл цвета*, который чаще называют управлением цветом.

Доступные по цене устройства для получения цветных изображений появились относительно недавно, поскольку более дешевые цифровые системы сделали эту технологию доступной для массового рынка. В 1970-х и 1980-х годах цифровой цвет был уделом систем высокого класса, таких как те, что продавались компаниями Crosfield Electronics, Hell и Dainippon Screen. Тот же производитель поставлял комплект для обработки цветных изображений, включающий монитор, программное обеспечение, сканер, корректор и т. д. Это были замкнутые системы, в которых все устройства были разработаны и установлены одним производителем.

Пример замкнутой системы показан на рис. 1.2. Изображение всегда получалось с фотографического сканера (возможно, барабанного), оно всегда выводилось на один и тот же монитор, и изображения предназначались для одного типа печатного процесса, например для офсетной печати, который эмулировался фирменной системой печати цветопробы, такой как ColorArt или Chromalin. В этой строго контролируемой ситуации было относительно легко получить желаемый цвет. Однако необходимо было реализовать два важных условия: наличие фиксированного рабочего процесса и квалифицированного персонала.

В системах с замкнутым циклом необходимо было иметь обученного оператора сканера. В течение многих часов работы оператор получал знания о характеристиках конкретного сканера и необходимых коррекциях тоновой кривой. Изображения преобразовывались в голубой[1], пурпурный, желтый и черный цвета (CMYK) в соответствии с известными условиями печати[2].

---

[1] Здесь и далее имеется в виду «циановый» цвет (Cyan). – *Прим. ред.*

[2] Этот процесс называется «цветоделением». – *Прим. ред.*

Барабанный сканер | Компьютер Mac | Принтер для цветопробы (Colorart или Chromalin)

Рис. 1.2. В старые времена цифровой цвет был уделом систем высокого класса, где одна и та же компания, например Crosfield Electronics, предоставляла комплект для обработки цветных изображений, включающий барабанный сканер, монитор, программное обеспечение и систему печати цветопроб

Для получения оптимальных результатов оператор разрабатывал определенный набор действий, которые необходимо было применять к отсканированным изображениям. Как правило, этот набор коррекций варьировался в зависимости от таких факторов, как тональность изображения: в низком или высоком они ключе[1], наличие доминирующих тонов кожи, для какого клиента предназначался результат (и его цветовые предпочтения), а также технология печати задания. Коррекция цвета основывалась на опыте оператора, и для внесения корректировок оператор использовал значения CMYK, показанные пипеткой (рис. 1.3)[2].

Наряду с квалифицированным оператором другим требованием замкнутой системы был фиксированный рабочий процесс. То есть необходимо было знать, откуда поступает изображение, как оно будет просматриваться и как будет печататься. Взаимосвязь между устройствами изучалась в ходе длительного итерационного процесса, и заменить одно устройство другим было непросто. Если изображения поступали от сканера иной системы или отправлялись на другую конфигурацию оборудования печати, задание часто приходилось переделывать.

Были и другие проблемы, связанные с таким способом работы. Редактирование изображений происходило в частных, разработанных производителем форматах файлов, и его передача между различными программными пакетами была очень затруднена. При обновлении или замене программных продуктов приходилось тратить многие человеко-часы на настройку файлов стилей.

---

[1] «Low-key» или «high-key», преобладают ли в изображении темные или светлые тона. – *Прим. ред.*

[2] «Пипетка» – инструмент различных компьютерных программ, показывающий цветовые составляющие конкретного пикселя или усредненные показатели цветовых составляющих группы пикселей. – *Прим. ред.*

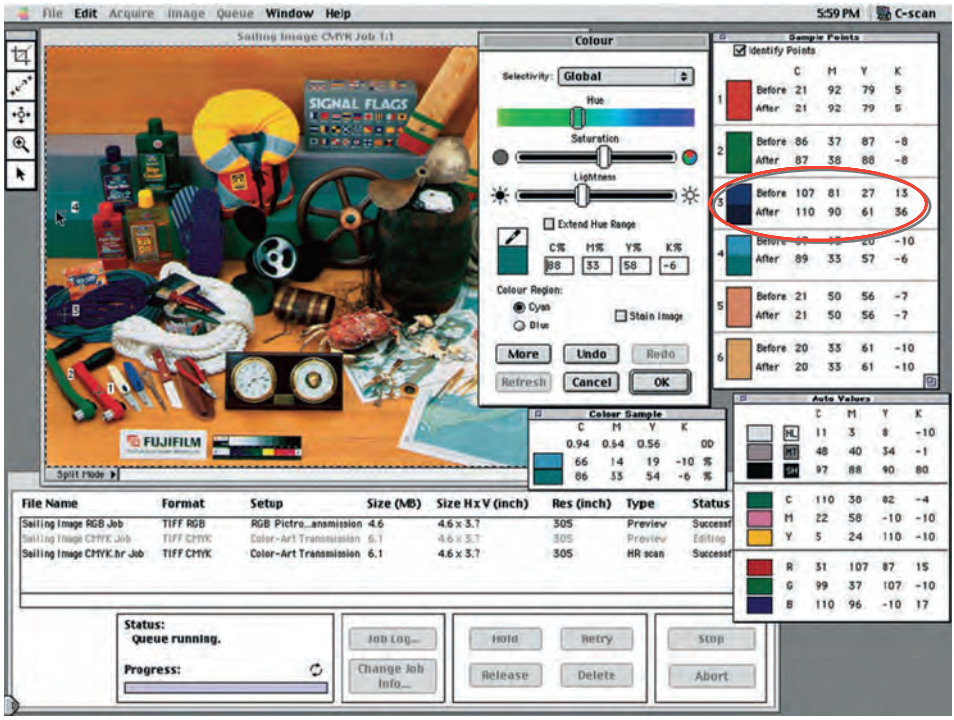


Рис. 1.3. В системах с замкнутым циклом опытные операторы редактировали изображения не по внешнему виду, а используя значения пикселей CMYK – это требовало значительного опыта. На рисунке показано программное обеспечение C-scan от FFEI

В итоге мы видим, что устройства формирования изображений всегда отличались некоторой изменчивостью и специфическими цветовыми характеристиками. При старом, замкнутом способе работы приходилось изучать характеристики каждого устройства методом проб и ошибок. Сегодняшние требования делают замкнутый цикл цветопередачи очень дорогим, негибким, проприетарным[1] и зависящим от персонала.

1.3. Необходимость открытой системы

В течение многих лет замкнутый цикл обработки цвета работал очень хорошо и позволял добиваться высококачественных результатов. Оператор изучал характеристики устройств, а затем компенсировал отклонение их параметров от желаемых. Почему нельзя просто распространить этот способ работы на современную среду?

В современных рабочих процессах изображения поступают из разных источников, просматриваются на разных дисплеях и отправляются на разные принтеры и другие системы вывода и печати. Рассмотрим сценарий современного допечатного производства, в котором используется замкнутая система управ-

[1] Запатентованным производителем, что, как правило, делает невозможной доработку и улучшение программного продукта. – *Прим. ред.*

ления цветом. Предположим, у нас есть собственная фотостудия и оператор, имеющий опыт редактирования снимков, сделанных определенной цифровой камерой. У компании есть струйный принтер, и все изображения печатаются на этом устройстве. Когда изображения получены, оператор настраивает их так, чтобы они на этом принтере печатались так, как надо.

Теперь предположим, что бизнес компании растет, она создает второй отдел студии и приобретает камеру другой марки и модели. Поначалу цвет изображений, получаемых с новой камеры, может быть неидеальным. Однако со временем оператор изучит «характерные особенности» новой системы камеры и будет знать, как корректировать изображения, получаемые из этого источника. Далее предположим, что компания начинает использовать внешний, внештатный источник. Опять же, оператору придется изучить уникальные характеристики этого внешнего источника, и в конечном итоге он сможет соответствующим образом корректировать изображения, полученные от внештатного фотографа. Дела компании идут хорошо, и объем бизнеса означает, что компании необходимо установить еще один принтер. Менеджер по закупкам выбирает лазерное устройство с тонером.

Теперь (слегка расстроенный) сотрудник должен вносить два различных варианта поправок в изображение в зависимости от того, будет оно печататься на струйном принтере или на новом лазерном. Оператор пытается отследить все эти преобразования для каждого конкретного устройства. Затем приходит начальник и просит создать изображение, которое должно быть отправлено клиенту для просмотра на мониторе и печати на принтере. В этот момент оператор сдается и начинает бормотать что-то об использовании управления цветом.

Система замкнутого цикла управления цветом выполняет компенсацию для каждого перевода изображения с устройства на устройство, и поэтому она хорошо работает только для небольшого числа устройств. Сегодня, когда существует множество различных устройств ввода и вывода, система замкнутого цикла, пытающаяся компенсировать поведение каждого устройства в отдельности, непрактична, поскольку приводит ко множеству вариантов «соединений». Другим необходимым условием замкнутого цикла является наличие опытного оператора.

Поскольку условия для системы замкнутого цикла (фиксированное, небольшое количество устройств и квалифицированный персонал) распались, необходимо было что-то сделать для гарантированного достижения точного цвета. Ответ – система с открытым циклом, также известная как система управления цветом. Система управления цветом сама изменяет значения пикселей в изображении нужным образом, без непосредственного участия пользователя.

1.4. Система управления цветом

Сегодня управление цветом осуществляется в системе с открытым циклом, которую мы называем *системой управления цветом*. Изображения снимаются цифровыми камерами и смартфонами, просматриваются на планшетах, ноутбуках и мониторах, отправляются на онлайн-порталы и виртуальные издания. Изображения, предназначенные для печати, имеют широкий выбор технологий, начиная с офсетной печати и заканчивая печатью упаковки и широкофор-

матными системами для уличных баннеров. Учитывая этот сценарий, когда изображения поступают со множества различных устройств и направляются на самые разные устройства вывода, решение с замкнутым циклом является практически неприменимым.

Система управления цветом обеспечивает элегантное решение этой проблемы. Вместо того чтобы пытаться определить протокол связи между каждым устройством с каждым другим устройством, система управления цветом использует объединенное пространство цветовых профилей для всех устройств. Рассмотрим аналогию с авиакомпанией, чтобы понять, как работает современная система управления цветом.

Авиакомпании разработали концепцию системы «ступица и спица», изображенную на рис. 1.4. Рейсы из городов, обслуживаемых авиакомпанией, прилетают и улетают из центрального узла (например, Чикаго О'Хара). Предположим, пассажир хочет перелететь из города А в город Б. Пассажир садится на рейс из города А в центральный хаб, а затем пересаживается на рейс из хаба в город Б. Таким образом, можно добраться из города А в город Б, даже если между А и Б нет прямого рейса.

Рис. 1.4. Авиакомпании используют систему хабов для связи пассажиров между различными городами. Это эффективно, так как очень сильно сокращает количество рейсов, необходимых для осуществления перелетов из множества пунктов назначения во множество других

Если бы каждый город был напрямую связан с каждым другим городом, это потребовало бы огромного количества рейсов. Большое преимущество системы «ступица и спица» заключается в том, что она значительно сокращает количество рейсов, необходимых для покрытия многих пунктов назначения. Другое преимущество системы «ступица и спица» заключается в том, что добавить новый город к маршруту очень просто. Достаточно добавить один рейс

из города С в центральный узел, и город С мгновенно соединяется с городами А и В и остальной сетью авиакомпании.

Как эта аналогия связана с управлением цветом? Современное управление цветом использует систему центрального узла для передачи цвета между устройствами, как показано на рис. 1.5. Официальное название этого центрального узла – Profile Connection Space (Объединенное пространство профилей). Файл, называемый цветовым профилем, образует «спицы» системы. Система управления цветом использует цветовые профили для подключения устройств к центральному пространству подключения и выхода из него.

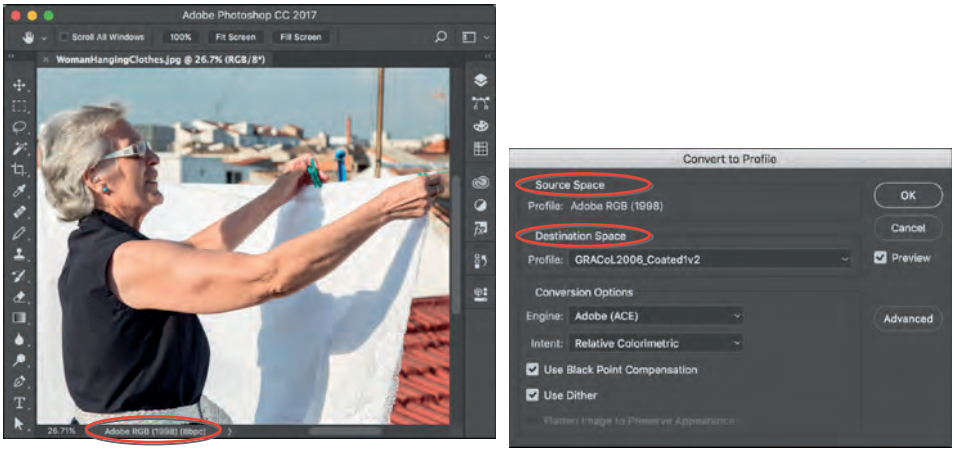
Рис. 1.5. Система управления цветом использует объединенное пространство профилей (Profile Connection Space) для подключения множества устройств с помощью их профилей. Этот рисунок является наиболее важной схемой для понимания управления цветом. Источник: Konica Minolta Business Solutions, Ingram Image, Epson®, Xerox® и Nikon Corporation. Изображение от Konica Minolta Business Solutions, воспроизведено с разрешения. Изображения iPad и панели предоставлены компанией Ingram Image

Если вы пассажир, совершающий путешествие, и хотите попасть в терминал аэропорта, у вас должен быть посадочный талон, точно так же для того, чтобы изображение стало частью системы управления цветом, оно должно иметь цветовой профиль. Таким образом, нам нужен профиль сканера для отсканированного изображения, профиль цифровой камеры для цифровой фотографии с камеры, профиль монитора для изображения, выводимого на монитор, и профиль принтера для распечатанного изображения. *Цветовое поведение устройств инкапсулируется в профиль, поэтому, по мере того как изображение*

проходит свой путь в центральный узел и обратно, данные пикселей изображения автоматически корректируются профилем с учетом характеристик каждого устройства.

На рис. 1.5 обратите внимание на стрелки, выходящие из объединенного пространства профилей к струйному корректору и лазерному принтеру; действие профилей заключается в корректировке и изменении значений пикселей для каждого устройства, это именно то, что нам нужно, исходя из предыдущей аналогии с попкорном.

Управление цветом будет работать только в том случае, если каждое изображение имеет профиль. Просто открыв изображение в Adobe Photoshop, можно увидеть, что изображение имеет соответствующий профиль, в данном примере название профиля – «Adobe RGB (1998)», рис. 1.6a.



(a) (b)

Рис. 1.6: (a) Adobe Photoshop четко указывает профиль изображения. © Eduardo Lopez/ Adobe Stock; (b) каждая операция управления цветом требует от пользователя указания исходного и целевого профиля

Другой характеристикой процесса управления цветом является профиль источника и профиль назначения (цели). В аналогии с авиакомпанией пассажиры прилетают и улетают из центрального узла, так и при управлении цветом нам необходимо знать, откуда поступает изображение и куда оно передается. Операции управления цветом требуют от пользователя указания профиля источника и профиля назначения. Эти профили наглядно показаны в диалоговом окне Photoshop, рис. 1.6b. На этом рисунке показан широко используемый «план путешествия» из RGB в CMYK, когда изображение начинается с исходного пространства с профилем «Adobe RGB (1998)» и направляется к месту назначения, указанному профилем «GRACoL_2006_Coated1v2». (RGB и CMYK – это аббревиатуры для красного, зеленого, синего – цветового пространства RGB, и голубого, пурпурного, желтого и черного – цветового пространства CMYK.)

Цвет стал «plug and play» – так же, как авиакомпании легко добавить новый город в свою маршрутную карту, при использовании управления цветом можно легко добавить новое устройство в рабочий процесс. Все, что необходи-

мо, – это его профиль. Профиль подключает устройство к центральному пространству соединений, которое сразу же делает характеристики устройства известными всем другим устройствам в системе, что позволяет легко добавлять, удалять или регулировать устройства.

Город может являться как отправной точкой для одного человека, так и пунктом назначения для другого пассажира. На рис. 1.5 мы видим, что большинство процессов связаны двусторонней стрелкой. Смартфон может использоваться для захвата изображений для ввода в рабочий процесс с управлением цветом, но он также часто используется для просмотра содержимого процесса с управлением цветом.

В итоге можно сказать, что разница свойств различных устройств никуда не ушла, но в системе управления цветом с открытым циклом для решения проблемы вариативности устройств используются профили и пространство соединения профилей. Система управления цветом соединяет различные типы устройств формирования цветного изображения и предоставляет возможность изменять базовые значения пикселей в изображении, по мере того как изображение передается из одного устройства формирования цветного изображения в другое.

Рисунок 1.5 – это самая важная схема для понимания системы управления цветом. Этот рисунок представляет собой концептуальную основу для всех операций управления цветом, которые рассматриваются в данной книге

1.5. Рабочие процессы управления цветом

Рабочий процесс (workflow) описывает технологический цикл, включающий различные устройства и операции. Рабочий процесс управления цветом может состоять из устройств ввода, вывода и отображения, подключенных к центральному пространству соединений с помощью профилей (рис. 1.5). Существует несколько способов обработки изображений с помощью такой системы.

Важнейшим этапом управления цветом является *точный просмотр* изображения. Изображение с цифровой камеры или смартфона переводится в нужное цветовое пространство, а затем передается на монитор. Этот процесс выполняется с помощью программного обеспечения, которое применяет исходный профиль (профиль камеры) и конечный профиль (профиль монитора) к данным пикселей изображения.

На входе профиль камеры предоставляет информацию о цветовых характеристиках устройства цифрового захвата, а на выходе изображение корректируется с учетом особенностей монитора, используемого для просмотра изображения. Конечным результатом является цветокоррекция исходного изображения. Если изображение отправляется по электронной почте клиенту, он также может точно просмотреть его. В этом случае с изображением ассоциируется тот же профиль камеры, но по получении клиент использует свой собственный монитор и поэтому должен иметь свой собственный профиль монитора. Данные пикселей изображения корректируются с учетом монитора клиента, используемого им для просмотра изображения.

Реальная сила управления цветом проявляется в рабочих процессах печати. Управление цветом облегчает *точную печать*. В этом случае изображение

с цифровой камеры вводится в объединенное пространство профилей, а затем отправляется на принтер. Программное обеспечение применяет входной профиль (как и раньше), но вместо профиля монитора система использует выходной профиль (профиль принтера). Таким образом, цвет напечатанного результата регулируется и может быть похож на оригинал, с учетом ограничений системы печати данного принтера.

Далее рассмотрим распространенную ситуацию, когда вы смотрите на изображение на экране и готовы его распечатать. Используя профили, вы можете определить, будут ли цвета вашего изображения изменены принтером.

Экранная цветопроба включает в себя предварительный просмотр изображения на мониторе таким образом, чтобы мы могли получить точное цветовое представление о цвете напечатанного результата, рис. 1.7. В этой ситуации изображение вводится в объединенное пространство профилей с помощью входного профиля, затем обрабатывается с помощью выходного профиля, который придает изображению вид, который получится при печати. Из пространства принтера изображение возвращается в центральное пространство и, наконец, отправляется на монитор. Экранная цветопроба очень полезна тем, что, просто выбрав профиль принтера, вы можете сразу же увидеть на экране, как будет выглядеть ваш будущий отпечаток.

Рис. 1.7. В процессе, известном как экранная цветопроба, изображение на вашем экране соответствует печатному продукту, отображаемому в настольном смотровом стенде. Воспроизведено с разрешения компании JUST Normlicht®

Очень большой экономией времени (и денег) является *печатная цветопроба*. Этот процесс имитирует результат работы печатной машины на вашем настольном принтере для цветопроб, чтобы вы могли увидеть, как будет выглядеть изображение, перед печатью тысяч копий. В этой ситуации изображение поступает в центральное пространство через профиль ввода, затем обрабатывается в соответствии с профилем печати и, наконец, отправляется на ваш струйный принтер для цветопроб. Он обеспечивает предварительный просмотр результата будущей печати, который может быть использован для обнаружения любых возможных проблем с будущим распечатанным тиражом. Поскольку струйная пробная печать производится в соответствии с характерис-

тиками печатной машины, она точно отражает ее возможности и может быть использована в качестве печатной цветопробы для утверждения заказчиком, который теперь может быть уверен в том, что печатная машина даст утвержденные им цвета.

Любое устройство, используемое для имитации результатов работы другой печатной машины, называется *пробником* (proofer). В управлении цветом любое устройство вывода может быть использовано в качестве принтера или пробника. Разница между принтером и пробником заключается в последовательности использования профилей. Первым устройством в этом процессе является принтер, а вторым – пробник. Следует внимательно отнестись к выбору подходящего пробника. Он должен быть способен воспроизводить все цвета, требуемые от принтера. Таким образом, не все принтеры являются подходящими пробниками.

Профили принтера можно использовать для *непосредственного сравнения* разных вариантов печати. Согласование между отпечатками часто используется в тех случаях, когда продукт бренда должен быть воспроизведен в журнальной рекламе, листовке, этикетке, витрине магазина и т. д. При согласовании этих отпечатков выходные профили используются для создания одинакового «внешнего вида и ощущения» на разных устройствах печати. Последовательность профилей, используемых в этой ситуации, будет, например, такой: изображение с камеры – это исходный профиль, а цифровая и офсетная печать – это целевые профили.

Для того чтобы воспользоваться преимуществами системы управления цветом, достаточно иметь профиль для каждого устройства и знать последовательность их применения. Зная это, любой пользователь будет владеть всеми преимуществами системы управления цветом.

1.6. ICC – Международный консорциум по цвету

Сегодня, когда мы говорим об управлении цветом, мы фактически имеем в виду «Управление цветом ICC». Структура пространства соединения профилей и формат профилей описаны Международным консорциумом по цвету (ICC). ICC – это регулирующий орган, который контролирует протоколы управления цветом между производителями программного обеспечения, производителями оборудования и пользователями.

В начале 1990-х годов ряд ведущих компаний в области цветовых технологий разрабатывали приложения для настольной цветной печати. Поскольку не существовало общей структуры управления цветом, которую могли бы использовать системы, каждое приложение должно было ориентироваться на конкретного производителя оборудования.

Новые системы появлялись регулярно, и не было совместимости между системами и согласованности результатов. Когда в выбранном решении отсутствовала желаемая функция, пользователи хотели «смешивать и сочетать», т. е. приобретать части системы у разных производителей. Технология развивалась, а системы, поддерживающей новые методы работы, не было. Вся отрасль оказалась под угрозой.

(a) (b)

Рис. 1.8 (a) Рождение ICC, по общему мнению, произошло на встрече в Пало-Альто в 1993 году; (b) сегодня представители компаний – членов ICC встречаются дважды в год. Очередная встреча ICC, Мюнхен, февраль 2016 г. Воспроизведено с разрешения ICC

В это время компания Apple Computer работала над проектом управления цветом под названием ColorSyncTM. Философия ColorSync была проста. Подобно тому, как операционная система знает о таких вещах, как разрешение и битовая глубина монитора или начертание букв на клавиатуре, должен существовать способ кратко описать цветовые возможности устройства. ColorSync – это технология на уровне операционной системы, которая облегчает передачу информации о цвете между различными аппаратными и программными компонентами. Это система с открытой платформой, к которой могут подключиться все производители. Многие производители были заинтересованы в принятии этой системы или взаимодействии с ней, но скрывали свои намерения.

Принято считать, что рождение ICC произошло на встрече FOGRA (немецкой ассоциации исследователей графических технологий) в Мюнхене в 1992 году. После обычной программы организаторы FOGRA пригласили гостей продолжить обсуждение в небольшой переговорной комнате. На этой встрече производители открыто говорили о ColorSync и о своей роли в единой системе управления цветом. Пелена секретности была снята, и был образован консорциум Apple ColorSync, первая официальная встреча которого состоялась в 1993 году в Sun Microsystems в Пало-Альто, как показано на рис. 1.8a.

Слова Apple ColorSync вскоре были исключены из названия, поскольку все были согласны с тем, что консорциум должен быть действительно независимым от платформы. Возникла полностью независимая организация под названием Международный консорциум по цвету (ICC). Индустрия значительно выиграла от возможности использовать модель ColorSync в качестве основы для современных систем управления цветом и многим обязана дальновидности фирмы Apple Computer за то, что она с готовностью предложила свою технологию сообществу.

Восемью членами-основателями ICC были Adobe, Agfa, Apple, Kodak, Taligent, Microsoft, Sun и Silicon Graphics. Сегодня ICC открыт для всех компаний, работающих в областях, связанных с управлением цветом. Члены должны подписать соглашение о членстве и оплатить взносы, которые в настоящее время составляют $2500 в год. Различные категории членства доступны для университетов с программами по работе с цветными изображениями и для частных лиц.

В ICC входят более 70 компаний-членов, которые выбирают должностных лиц из своего состава. NPES (Ассоциация производителей полиграфических, издательских и конверсионных технологий) предоставляет ICC административную поддержку в виде списков рассылки, веб-сайтов, организации встреч и выпуска ежегодного отчета. Веб-сайт ICC – www.color.org – предоставляет полезное хранилище профилей ICC, ряд профилей для тестирования, а также справочные Белые книги[1]. Сайт широко используется и имеет 14 000 посещений в месяц.

Работа ICC осуществляется посредством конференцсвязи, а также три раза в год консорциум проводит личные встречи в разных точках мира. Заседание ICC в феврале 2016 года в Мюнхене, Германия, показано на рис. 1.8b. Обычно компания или организация – член консорциума оказывает помощь на местах, или встреча ICC может проводиться в связке с соответствующей конференцией, такой как IS&T Color Imaging Conference. На любой встрече присутствует только часть членов ICC.

Основная работа ICC проводится в группах, каждая из которых занимается рассмотрением конкретного вопроса. В настоящее время существуют рабочие группы по архитектуре, дисплеям, графическому искусству, аттестации профилей, медицинской визуализации и редактированию спецификаций. Каждая группа работает над способами решения проблем и вопросов пользователей. Часто группам приходится преодолевать препятствия, возникающие из-за того, что современные системы цифровой обработки изображений запатентованы, или из-за других вопросов, связанных с патентованием.

Результаты обсуждений в ICC доводятся до сведения пользователей и производителей через Спецификацию профиля ICC. Спецификация – это технический документ, который описывает структуру и формат профилей ICC и является основным «библейским» документом для ICC. Спецификация ICC продолжает изменяться и развиваться, текущая версия спецификации всегда доступна на веб-сайте ICC. На момент написания данной статьи используются следующие версии спецификации:

- спецификация ICC.1:2001-04 (версия 2), предыдущая основная редакция, до сих пор поддерживается многими производителями;
- спецификация ICC.1:2010-12 (версия 4), наиболее широко используемая версия, опубликованная в 2010 году;
- спецификация ICC.2:2016-07 (версия 5), выпущена в 2016 году, еще не получила широкого распространения.

Профили, созданные в соответствии с каждой версией спецификации, маркируются соответствующим образом, поэтому вы можете встретить профиль версии 2 (v2) или версии 4 (v4) и т. д.

Спецификации также передаются через соответствующие национальные и международные комитеты для публикации в качестве международных стандартов, ISO 15076 (v2 и v4) и ISO 20677 (v5)[2].

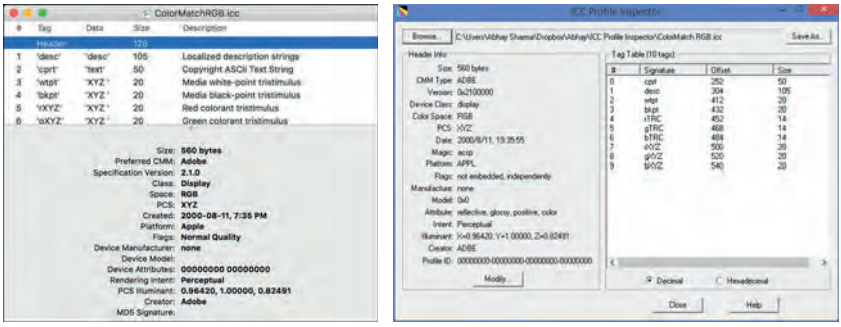
ICC создала универсальную систему управления цветом, которая произвела революцию и принесла огромную пользу всей отрасли. Проприетарные систе-

[1] Документация, описывающая технологический процесс или алгоритм. – *Прим. ред.*

[2] ISO – Международная организация по стандартизации. – *Прим. ред.*

мы были отвергнуты в пользу открытой архитектуры, которая обеспечивает удобство и беспроблемную совместимость конечному пользователю. Одна из причин, по которой нынешняя система работает так хорошо, заключается в том, что все сообщество – производители, пользователи, операционные системы – собралось вместе, чтобы согласовать структуру, формат и содержание профиля ICC. Использование в ICC-профиле информации, защищенной правом собственности, активно не поощряется, поэтому, как правило, в ICC-профиле нет или очень мало такой информации.

Поскольку в повседневном управлении цветом участвует множество различных компаний и продуктов, важно, чтобы профили, созданные одной компанией, могли использоваться для устройств другого производителя и подключаться пользователем в стороннем прикладном программном обеспечении – на операционных системах Windows или Mac. Так как все профили создаются в соответствии со спецификацией ICC, это означает, что не имеет значения, кто создал профиль и где мы хотим его использовать; профили работают для всех устройств, на всех программах и во всех операционных системах. Формат настолько открыт, что если вы пользователь Mac – дважды щелкните на любом профиле, и он откроется, рис. 1.9a. В Windows профиль ICC можно открыть и просмотреть его содержимое с помощью бесплатной утилиты, рис. 1.9b.



(a) (b)

Рис. 1.9. ICC-профили не зависят от платформы, поэтому содержимое профиля можно просматривать с помощью (a) системного программного обеспечения MacOS под названием ColorSync Utility или (b) утилиты Windows под названием ICC Profile Inspector

ICC-профиль – это компьютерный файл, размер которого может варьироваться от 4 кБ для простого профиля монитора до 8 МБ для принтера. Профили могут быть встроены в изображение или использоваться как отдельные файлы. С точки зрения построения профиля, все устройства считаются одинаковыми, т. е. ICC не делает различий между профилем для настольного струйного принтера стоимостью $100 и профилем для офсетной печатной машины стоимостью $1 млн.

Структура ICC позволяет компаниям разрабатывать новые продукты или писать новое программное обеспечение, не задумываясь о том, какую платформу или систему поддерживать. Управление цветом ICC позволило производителям ускорить выход на рынок и обеспечить равные условия. Небольшая

начинающая компания имеет равный доступ с компанией-гигантом в области обработки изображений, что способствует развитию конкуренции и предпринимательства.

Система ICC позволяет расширяться на новые технологические области. Новые устройства и системы, которые не были предусмотрены на момент создания ICC, тем не менее могут быть легко адаптированы благодаря открытой архитектуре ICC. Цветопередача на планшетах, смартфонах и в веб-браузерах, в 3D-печати и в наклейках на автомобили – все это может быть легко смоделировано с помощью профилей ICC. Новые наборы красителей с расширенной цветовой гаммой, использующие больше цветов, чем CMYK, – оранжевый, зеленый и фиолетовый – не требуют новых модулей ICC.

Технология ColorSync компании Apple была первой и лучшей системной реализацией цифровой системы управления цветом и является основой для современного управления цветом ICC. Благодаря этой исторической связи, а также тому, что ColorSync продолжает оставаться хорошо интегрированной и хорошо поддерживаемой частью macOS, эта платформа часто является предпочтительной для управления цветом.

Управление цветом ICC существует сегодня и останется, оно не исчезнет в ближайшее время, что является стимулом для читателя, чтобы изучить технологию управления цветом и то, как она работает.

1.7. Спецификация цветов RGB и CMYK

В управлении цветом мы сталкиваемся со спецификацией цвета в RGB и CMY (или, чаще, CMYK). Устройства работают с использованием одного или другого из этих основных наборов цветов, как показано на рис. 1.10.

Некоторые устройства создают цвета, используя набор RGB (т. е. красный, зеленый и синий). RGB называют первичным (или аддитивным) набором цветов. Технологии, основанные на RGB, – это дисплеи, цифровые камеры и планшетные устройства. Голубой, пурпурный и желтый (CMY) – это другой основной набор цветов. CMY называют вторичным (или субтрактивным) набором цветов. К устройствам CMY относятся все принтеры и печатные машины. В обеих системах каждый из трех красителей контролирует треть спектра, поэтому, используя различное соотношение RGB или CMY, мы можем воспроизводить широкий спектр цветов.

В устройствах RGB, таких как монитор, мы можем создавать основные цвета, красный, зеленый или синий, используя красный, зеленый или синий элементы соответственно. Мы также можем добавить красный, зеленый или синий вместе, чтобы имитировать другие цвета. Если мы добавим красный и синий, эта область экрана будет выглядеть пурпурной, если добавим синий и зеленый – голубой, а если добавим зеленый и красный – желтый. Если мы добавим все три цвета вместе, в равной пропорции, экран будет выглядеть белым, а если не добавим ни одного из них, то получим черный цвет. Конечно, мы также можем добавить немного красного и немного зеленого, чтобы получить средние тона и промежуточные значения. Итак, мы видим, что, управляя первичными RGB-цветами, мы можем создать любой цвет, какой захотим.

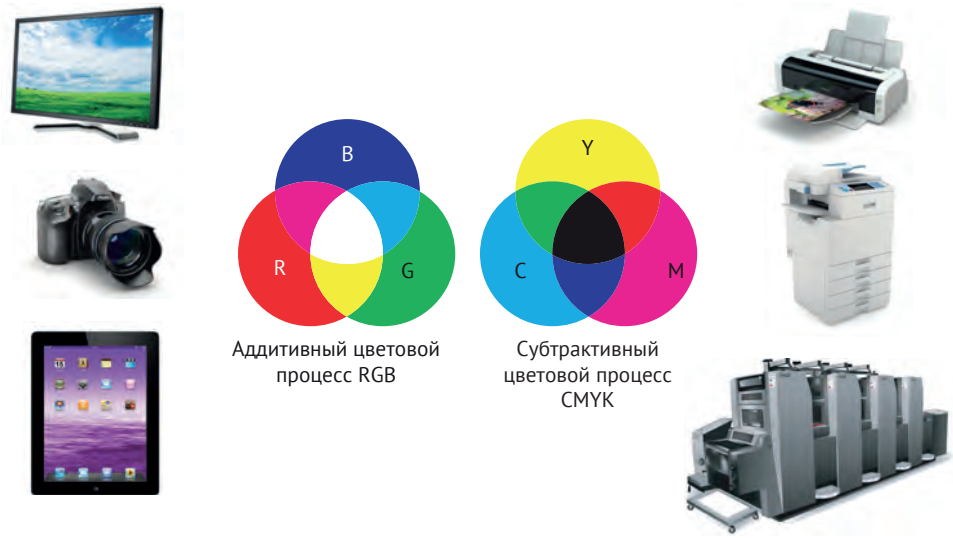


Рис. 1.10. Устройства формирования цветных изображений воспроизводят цвета, используя либо аддитивный набор цветов RGB (красный, зеленый и синий), либо субтрактивный набор цветов CMYK (голубой, пурпурный, желтый и черный). LCD-панель: © Denis Tabler/ Shutterstock

Другой основной цветовой моделью является модель CMY. В модели CMY, применяемой, в частности, в офсетной печати, мы помещаем на бумагу различное количество голубой, пурпурной и желтой краски, чтобы создать любой из желаемых цветов. Мы можем добавлять одну, две или три цветные краски вместе, а также разное количество каждой краски. Если мы добавим желтые и голубые красители, то получим зеленый цвет, голубые и пурпурные создадут синий, а пурпурные и желтые – красный. Если мы добавим все три цвета красок в одно место, то получится черный цвет. Если мы хотим сделать белый цвет, мы не кладем никаких красок, и бумага остается белой. В печати из-за несовершенства чернил, пигментов и тонеров черный цвет, образующийся при добавлении голубой, пурпурной и желтой красок, не такой глубокий и густой, поэтому мы добавляем черную краску (K), так что набор CMY обычно известен как CMYK. Черный цвет называется «K» по историческим причинам, когда черный канал был «ключевым» каналом (key или keyline channel), а другие цветовые компоненты (Cyan, Magenta, Yellow) выравнивались по черному каналу для лучшей цветопередачи. (Кроме того, если бы черный назывался «B», его можно было бы спутать с синим.) Таким образом, в большинстве печатных процессов мы добавляем черную краску или тонер, чтобы улучшить цвета изображения. Почти все виды печатных технологий, от струйных принтеров до цифровых и офсетных печатных машин, используют модель печати CMYK.

Вы можете заметить, что CMY – это «противоположность» или дополнение к модели RGB. Поэтому мы говорим о желтом цвете как о противоположном голубому, поскольку в желтом нет голубого. Аналогично пурпурный цвет противоположен зеленому, а голубой – красному.

Можно задать цвет в любом из этих цветовых пространств, цвет может быть задан путем описания различных величин RGB или CMYK. Описание цвета может быть, например, таким, как показано в табл. 1.1: R = 10, G = 200, B = 32, по шкале 0–255 это зеленый цвет, а C = 23 %, M = 6 %, Y = 83 % и K = 4 %, по шкале 0–100 % это желтый цвет.

Таблица 1.1. RGB и CMYK являются инструкциями для устройства и поэтому дают только общее представление о конечном цвете.

Цветовая модель	Значения пикселя	Цвет
RGB (0–255)	R = 10, G = 200, B = 32	
CMYK (0–100 %)	C = 13 %, M = 6 %, Y = 83 %, K = 4 %	

В случае RGB инструкции пикселя могут быть отправлены на дисплей, а дисплей реализует эти инструкции, в результате чего получается соответствующий параметрам цвет, рис. 1.11a. Но те же инструкции, переданные на другой монитор, из-за различий в отображении могут создать несколько иной цвет.

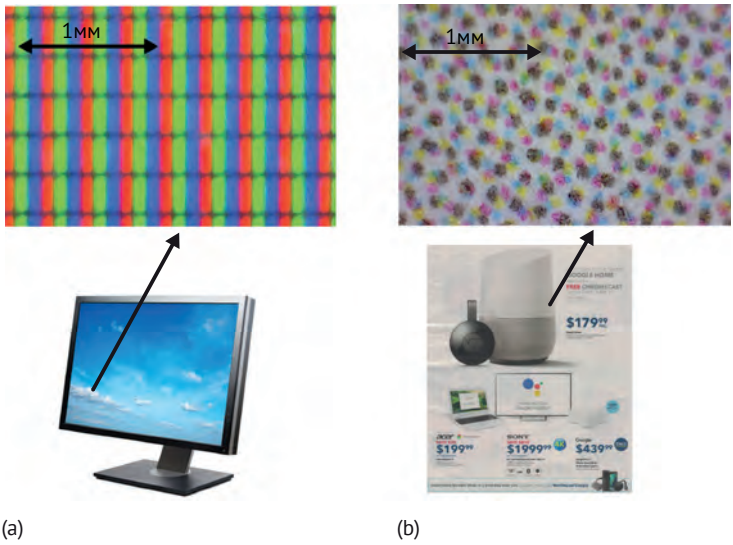


Рис. 1.11: (a) Дисплеи являются RGB-устройствами, что показывают при увеличении красные, зеленые и синие элементы матрицы экрана; (b) печатная листовка создана с помощью CMYK, на что указывают голубые, пурпурные, желтые и черные пятна чернил. С обычного расстояния мы не видим отдельных элементов RGB или CMYK, они сливаются, создавая сплошное изображение

В случае CMYK эти инструкции могут быть уровнями краски для процесса офсетной печати, печатное устройство переносит требуемое количество краски на бумагу, рис. 1.11b. Но если те же значения CMYK послать в другой печатный процесс, где система так же старательно выполнит инструкции по нанесению точно такого же количества краски, то в результате может получиться другой цвет из-за различий в бумаге, красках и процессе печати. RGB и CMYK

являются лишь *инструкциями для устройства и не обеспечивают надежное или точное воспроизведение цвета*.

RGB и CMYK – это только инструкции для устройства, и хотя мы можем предположить, какой цвет, скорее всего, создадут эти инструкции, но окончательный точный цвет будет зависеть от устройства и его конфигурации. Поэтому хотя RGB и CMYK обязательно представлены в единицах, которые соответствующие устройства RGB и CMYK могут легко понять, они не являются спецификацией цвета, и их лучше называть инструкциями для данного устройства. Мы говорим, что RGB и CMYK – это цветовые спецификации, зависящие от устройства, поскольку создаваемый цвет будет зависеть от устройства и его конфигурации.

Пользователь может создать файл в RGB или CMYK, но прямое использование RGB и CMYK нецелесообразно при попытке передачи информации о цвете между различными устройствами в открытой системе управления цветом.

1.8. Цветовые системы CIE Yxy и CIE L*a*b*

Спецификация цвета делится на две основные категории: *цвет, зависящий от устройства* (RGB и CMYK) и *цвет, не зависящий от устройства* (Yxy и L*a*b*). Не зависящая от устройства цветовая система может использоваться для передачи информации о цвете между различными устройствами[1].

Международная комиссия по освещению (Commission Internationale de l'Eclairage, CIE) определяет ряд цветовых систем, которые являются независимыми от устройства, что означает, что они основаны на измерении образца независимо от того, как оно было сделано. Системы CIE можно рассматривать как *идентификатор* или *спецификацию* цвета. За годы своего существования организация CIE определила ряд независимых от устройств цветовых систем; две системы, широко используемые в управлении цветом, – это цветовые пространства CIE 1931 Yxy и CIE 1976 L*a*b*, рис. 1.12.

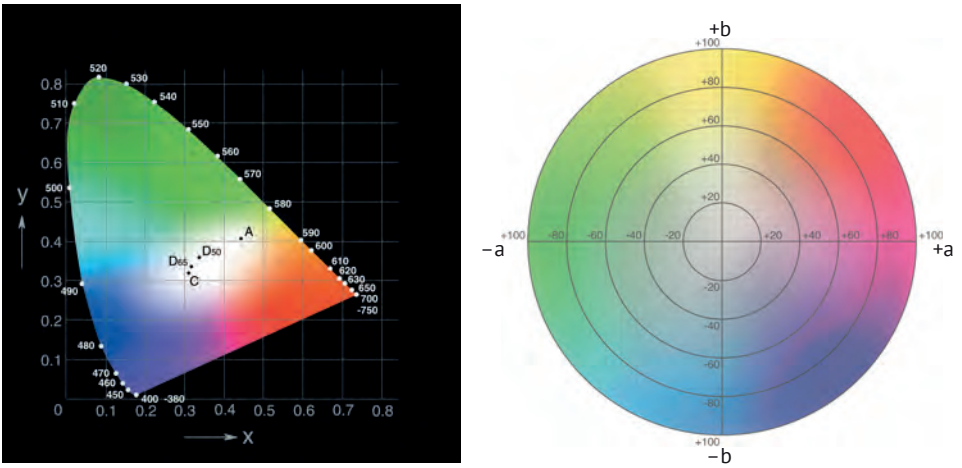
Система Yxy является старой системой, утвержденной в 1931 году, и имеет форму подковы, рис. 1.12a. В системе Yxy цвет определяется его координатами *x* и *y* на графике, называемом диаграммой цветности. На диаграмме цветности зеленый цвет занимает большую площадь, сжимая синий и красный.

Система L*a*b* определяет цвет по его положению в трехмерном цветовом пространстве, двумерный срез которого показан на рис. 1.12b. Координата L* представляет яркость, a* – положение цвета на оси красный–зеленый, а b* – положение цвета на оси желтый–голубой. Обратите внимание на диаграмму L*a*b*, что цвета расположены более равномерно – зеленый не занимает всю верхнюю часть диаграммы, и диаграмма имеет круглую форму. С точки зрения науки о цвете, мы говорим, что цветовое пространство L*a*b* является более «перцептивно однородным»[2].

---

[1] L*a*b* не тождественно распространенному обозначению цвета LAB или Lab, поскольку это – неформальная аббревиатура, не определяющая цветовое пространство однозначно. Более известным и распространенным значением термина LAB является CIELAB (точнее, «CIE 1976 L*a*b*»), менее распространено Hunter Lab (точнее, «Hunter L, a, b»). – *Прим. ред.*

[2] Однородным с точки зрения зрительного восприятия. – *Прим. ред.*



(a) (b)

Рис. 1.12: (a) Диаграмма Yxy 1931 года имеет подковообразную форму и большую площадь для зеленых цветов, но сжимает синие и красные; (b) диаграмма L*a*b* 1976 года значительно лучше и предоставляет всем цветам равную площадь. Управление цветом ICC основано на L*a*b*

Yxy и L*a*b* – это независимые от устройства цветовые модели, которые не связаны с каким-либо конкретным устройством. Системы CIE используют прибор для измерения цвета и получения численного результата. В системе L*a*b* мы можем иметь, например, три числа, L*a*b* – (43; 68; 46) для конкретного красного цвета. Измерительному прибору не нужно знать о принтере, который произвел образец, он просто измеряет параметры напечатанного образца. Системы CIE – это стандартизированные и надежные системы, поэтому, когда цвет определяется одной из этих систем, это означает одно и то же для любого пользователя в любом месте. Более подробно цветовые системы CIE описаны в главе 3 «Цвет в числах».

1.9. Преобразования цвета

Как работает управление цветом? Если открыть капот, мы увидим, что управление цветом работает путем преобразования входного изображения RGB в выходное изображение CMYK через посредство цветового пространства L*a*b*. Рассмотрим пример фотографирования красного образца, открытия снятого изображения в Photoshop и его печати (рис. 1.13). Простая красная плашка была сфотографирована цифровой камерой Nikon D3200 и открыта в Photoshop. Цифровая камера работает в RGB, поэтому изображение обязательно будет представлено в RGB. Палитра Info программы Photoshop показывает, что курсор находится на пикселе со значением RGB (173; 4; 37) (образец очень красный и поэтому имеет высокое значение R).

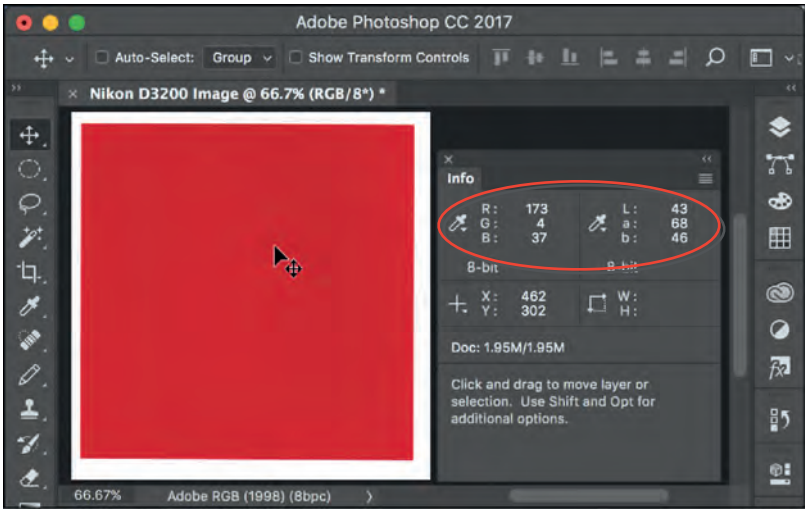


Рис. 1.13. Приложения с поддержкой ICC, такие как Adobe Photoshop, способны преобразовывать значения пикселей RGB в L*a*b*

Каждая камера имеет свой характерный спектр чувствительности к цвету (частоте, или длине волны) света, поэтому значения пикселей RGB полученного изображения будут отличаться, если мы используем модель Nikon, камеру Canon или Sony. Вместо того чтобы напрямую отправлять значения RGB на принтер, управление цветом работает путем преобразования значений RGB устройства в независимые от устройства значения L*a*b*, отображаемые в палитре Info. Значения RGB камеры преобразуются из RGB в L*a*b* с использованием профиля камеры, в данном примере это профиль «Adobe RGB (1998)», как указано в нижней части рисунка. Значения L*a*b* являются однозначным описанием цвета и используются для передачи требований к цвету системе принтера. В данном примере значения L*a*b* для этого красного цвета составляют L* = 43, a* = 68 и b* = 46.

При печати изображения процесс происходит в обратном порядке, то есть мы указываем значение L*a*b*, а ICC-профиль определяет необходимые инструкции CMYK, специфичные для каждого принтера для получения этого цвета, рис. 1.14. Каждый профиль принтера получает одинаковые инструкции L*a*b* (L* = 43, a* = 68 и b* = 46), и каждый профиль используется для определения необходимого соотношения количества красителей CMYK, которое создаст нужный цвет. Мы видим, что один и тот же красный цвет со значениями L*a*b*, L* = 43, a* = 68 и b* = 46 создается с помощью инструкций CMYK, которые различаются в зависимости от типа принтера. Этот эксперимент был проведен в Школе графического управления коммуникациями в Университете Райерсона с использованием реальных устройств. Этот процесс «подстраивает» специфические цветовые характеристики и параметры каждого отдельного принтера для получения нужного результата.

Рис. 1.14. Красное изображение было отправлено в разные типографии университета Ryerson. Значения L*a*b* преобразуются в инструкции CMYK профилем ICC каждого устройства, так что каждый принтер создает один и тот же красный цвет. Источник: Epson и Xerox. Изображение от Roland DGA Corporation, воспроизведено с разрешения

В целом устройства могут работать только с RGB или CMYK, зависящими от самого устройства, поэтому изображения с цифровой камеры обязательно передаются в RGB, а данные изображения, отправляемые на принтер, обязательно в единицах, которые принтер может принять, т. е. CMYK. Однако в середине L*a*b* используется как общее пространство обмена и применяется для передачи цветовой информации от источника к получателю, при этом характеристики входного устройства компенсируются через преобразование RGB в L*a*b* и характеристики принтера во время дальнейшего преобразования L*a*b* в CMYK.

1.10. Три кита управления цветом

Практические процессы управления цветом покоятся на трех китах: *калибровка*, *характеризация* и *преобразование*, – как показано на рис. 1.15. В этом тексте мы будем создавать и использовать профили в соответствии с тремя китами управления цветом.

Калибровка подразумевает установление фиксированного, повторяемого состояния устройства. Для монитора это может означать настройку параметров яркости и контрастности. Для принтера это означает согласование типа носителя и настройки разрешения принтера. Все, что изменяет цвет изображения, должно быть идентифицировано и «фиксировано» (locked-down). Калибровка включает в себя установление некоторого известного начального состояния, мониторинга этого состояния и возможность вернуть устройство в калиброванное состояние в случае смещения его параметров.

После калибровки устройства его характерный отклик изучается в процессе, известном как *характеризация*. В кругах специалистов по управлению цветом

характеризацию обычно называют «профилированием». В процессе создания профиля цветовые характеристики устройства изучаются путем отправки на устройство специально подобранного набора цветовых плашек в тестовой карте и измерения реакции устройства. В процессе характеризации определяются цветовые характеристики и гамма устройства, и эта информация сохраняется в профиле ICC устройства.

Рис. 1.15. Операции управления цветом можно описать в терминах «трех китов». Калибровка – это создание фиксированной основы для всего процесса управления цветом. Определение характеристик устройства – это «профилирование». Преобразование происходит, когда мы используем профили для преобразования данных изображения из RGB в CMYK. Процесс калибровки должен обеспечить прочную основу для профилирования и преобразования

После калибровки и профилирования устройства наступает время использовать профили для получения, печати или воспроизведения изображений на мониторе. Третьим этапом управления цветом является *преобразование* – процесс, в котором изображения преобразуются из одного цветового пространства в другое с помощью профилей устройств. Обычно для сценария «камера–принтер» это может означать использование профиля камеры и профиля принтера. Процесс преобразования чаще всего опирается на прикладное программное обеспечение (например, Photoshop), программное обеспечение системного уровня (например, macOS ColorSync) и модуль управления цветом (например, Adobe CMM).

Эти «три кита» управления цветом являются иерархическими, что означает, что каждый этап зависит от предыдущего. Стабильная калибровка выступает основой управления цветом, то есть устройство должно давать воспроизводимые результаты и не отклоняться от своей первоначальной калибровки. Если калибровка меняется, это может пошатнуть всю пирамиду, так как профиль становится недействительным, что негативно сказывается на результатах преобразования.

Почти каждый процесс управления цветом может быть описан в этих терминах, поэтому в данном тексте полезно ссылаться на операции в терминах калибровки, характеризации и преобразования.

1.11. Типы профилей

Для реализации управления цветом необходимо иметь ICC-профиль каждого устройства в цепочке обработки изображений. Существует три основных способа получения профиля для вашего устройства.

- *Пользовательский профиль*: создайте пользовательский профиль для вашего устройства с помощью измерительного прибора, тестовой карты и программного обеспечения для профилирования.
- *Общий профиль*: используйте общий профиль, поставляемый производителем, например профиль Epson SureColor P7000 для использования с бумагой Epson Premium Photo Luster Paper.
- *Стандартный профиль*: считайте, что ваше устройство находится в стандартном состоянии, например sRGB или GRACoL или FOGRA51.

Пользователи должны знать о различных типах доступных профилей, чтобы оценить наилучший тип профиля для конкретного сценария процесса. Как правило, мы ищем профиль, который легче всего получить, но при этом он должен обеспечивать точность и качество для намеченной цели работы.

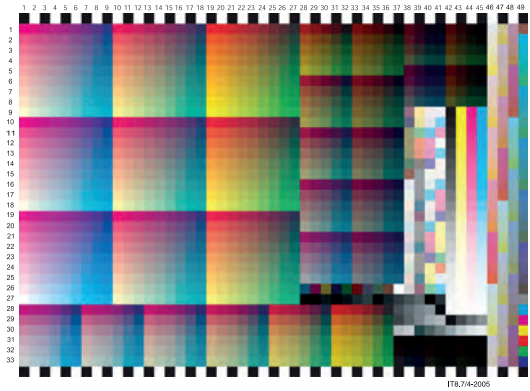
1.11.1. Пользовательские профили

Пользовательский профиль – это профиль, созданный специально для вашего устройства и его состояния. Создание пользовательского профиля – это то, о чем думают большинство пользователей, когда говорят о «профилировании». Многие дискуссии в кругах специалистов по управлению цветом вращаются вокруг выбора программного и аппаратного обеспечения для создания пользовательских профилей и нюансов различия пользовательских профилей для оборудования разных производителей.

Процедура создания пользовательского профиля основана на трех китах управления цветом – калибровке, характеризации и преобразовании. Для создания профиля, например, принтера пользователь *его калибрует*, а затем определяет его *характеристики* (профиль) путем печати и измерения тестовой мишени, рис. 1.16a. Для различных профилируемых устройств (RGB-принтера, CMYK-принтера, устройства многоцветной печати и т. д.) есть целый ряд тестовых карт. IT8.7/4 – это карта с 1617 плашками, которая обычно применяется для профилирования процесса печати CMYK, рис. 1.16a. На рис. 1.16b показано, как спектрофотометр X-Rite i1iO с помощью специального программного обеспечения используется для измерения тестовой карты с целью создания пользовательского профиля принтера. Преобразование данных изображения происходит в программном приложении, таком как Adobe Photoshop или RIP принтера[1].

Преимущество пользовательского профиля в том, что он учитывает поведение конкретного устройства и реальное состояние, в котором оно находится. Пользовательское профилирование позволяет работать с нестандартными носителями, которые вы пожелаете использовать. Такое профилирование, как правило, применяется в особых случаях, поскольку оно требует тщательного подхода, технических знаний и инвестиций в измерительное оборудование и программное обеспечение. Преимуществом пользовательского профиля является то, что он может использовать цветовую гамму устройства полностью, что особенно актуально для печатных систем, которым присущ небольшой цветовой охват.

[1] RIP – Raster Image Processor. – *Прим. ред.*



(a)

(b)

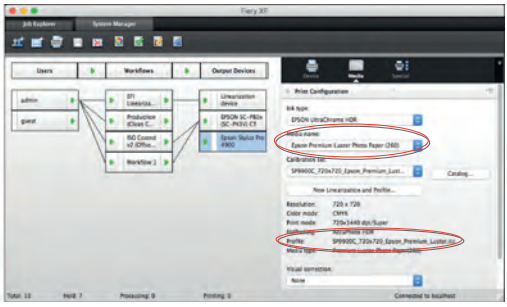
Рис. 1.16: (a) IT8.7/4 – это широко используемая тестовая карта для профилирования принтеров, содержащая 1617 плашек с различными комбинациями CMYK; (b) пользовательские профили изготавливаются путем измерения тестовой мишени, например с помощью спектрофотометра X-Rite i1iO. Рисунок (b) воспроизведен с разрешения компании X-Rite, Incorporated

Это очень важная операция в управлении цветом, поэтому пользовательское профилирование цифровых камер, мониторов и принтеров рассматривается в отдельных главах этой книги (гл. 6, 7 и 8).

1.11.2. Универсальные профили

Многие производители струйных и цифровых печатных машин предоставляют *универсальные профили*, которые представляют собой средние цветовые характеристики устройства при печати с указанными моделью принтера, разрешением печати, набором красителей и носителем. Для определения универсального профиля производитель выбирает несколько устройств для тестирования из производственного конвейера. Такие профили обычно доступны на веб-сайте производителя или предоставляются в пакете программного обеспечения, драйвере принтера или загружаемом обновлении программного обеспечения (рис. 1.17).

(a)



(b)

Рис.1.17. Универсальные профили очень удобны. Готовый профиль доступен в EFI Fiery XF при использовании Epson Premium Luster Photo Paper с принтером Epson Stylus Pro 9900. Источник: B&H. Воспроизведено с разрешения B&H Photo Video and Pro Audio