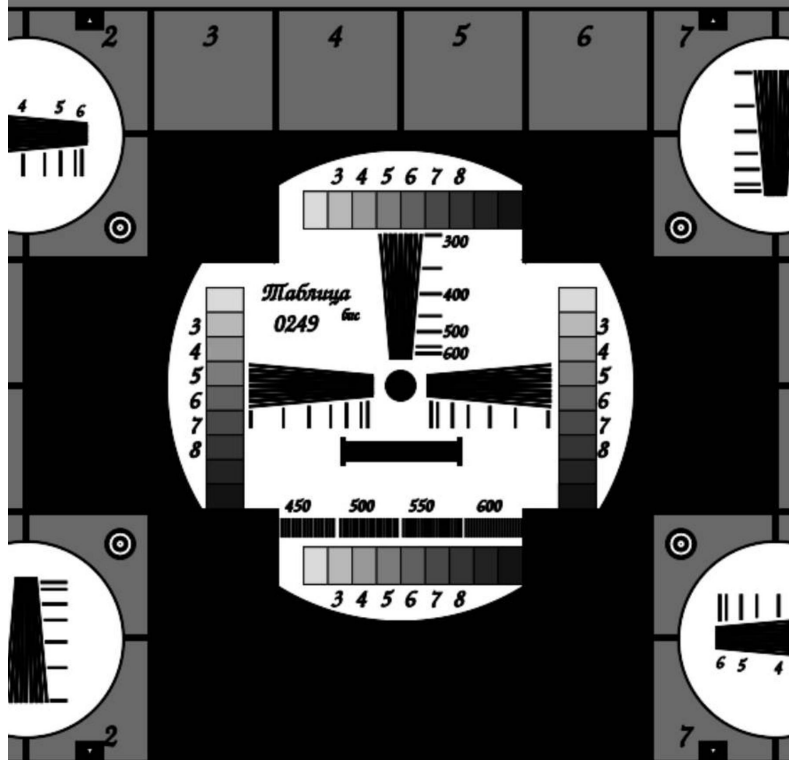




И. Г. ТИТАРЕНКО
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ARGVLLCMS

МОСКВА 2026 Г.

Иван Титаренко

Руководство

пользователя ArgyllCMS

<https://litres.ru/74463682>

SelfPub; 2026

Аннотация

В основе руководства лежит текст Грэма Гилла. Исследователь и программист Грэм Гилл написал обширную справку, затрагивающую практически все возможные аспекты работы с собственной открытой системой управления цветом ArgyllCMS.

Содержание

И.Г. Титаренко, Система управления цветом ArgyllCMS	8
Введение	16
Программный комплекс ArgyllCMS	18
Приложение для Android	20
Почему был создан программный комплекс ArgyllCMS	21
Поддерживаемые операционные системы	23
Колориметры и спектрометры	24
Авторское право, лицензирование и товарные знаки	26
Графические пользовательские интерфейсы	30
Основные инструменты и командная строка	31
Основные инструменты (по категориям)	34
Диагностические и тестовые инструменты	37
Другие инструменты ArgyllCMS	38
Краткое введение в управление цветом	40
Обзор программного пакета ArgyllCMS	50
Настройка монитора и целевых устройствах	55
Особенности работы с дисплеями	59
Измерение частоты обновления	61
Типы дисплеев	62
Широкоформатные дисплеи и колориметры	65

Файлы спектральной коррекции	69
Необходимость быстрого колориметра	71
Профили ICC и намерения	72
Особенности ICC версии 2	74
Особенности ICC версии 4	77
Калибровка и профилирование	82
Искажения черного цвета	86
Оценка целевых входных данных	90
Настройка производительности	93
Форматы файлов ArgyllCMS	96
Установка переменных среды	101
Переменная ARGYLL_NOT_INTERACTIVE	104
Переменная ARGYLL_3D_DISP_FORMAT	106
Переменная	107
ARGYLL_COLMTER_CAL_SPEC_SET	
Переменная	108
ARGYLL_MIN_DISPLAY_UPDATE_DELAY_MS	
Переменная	109
ARGYLL_DISPLAY_SETTLE_TIME_MULT	
Переменная	110
ARGYLL_DISPLAY_FAKE_RAND_SEED	
Переменная	111
ARGYLL_CREATE_WRONG_VON_KRIES_OUTPUT	
Переменная	113
ARGYLL_CREATE_DISPLAY_PROFILE_WITH_CHA	
Переменная	115

ARGYLL_CREATE_DISPLAY_PROFILE_WITHOUT_	
Переменная	116
ARGYLL_CREATE_OUTPUT_PROFILE_WITH_CHA	
Переменная	119
ARGYLL_CREATE_V2COLORANT_TABLE	
Переменная	120
ARGYLL_PLATFORM_OVERRIDE	
Переменная	121
ARGYLL_CCAST_DEFAULT_RECEIVER	
Переменная	122
ARGYLL_IGNORE_XRANDR1_2	
Переменная	123
ARGYLL_IGNORE_XINERAMA	
Переменная ARGYLL_USE_COLORD	124
Переменная	125
ARGYLL_DISABLE_I1PRO2_DRIVER	
Переменная	126
ARGYLL_EXCLUDE_SERIAL_SCAN	
Переменная ARGYLL_XRGA	127
Переменная	128
ARGYLL_UNTWIST_GAMUT_SURFACE	
Переменная XDG_CACHE_HOME	129
Переменная XDG_CONFIG_DIRS	130
XDG_DATA_DIRS	
Переменная I1D3_ESCAPE	131
Переменная I1D3_DISABLE_AIO	132

Переменная	133
SPYD2024_LOWLEV_MEASURE	
Ограничения ArgyllCMS	134
Аддитивный и субтрактивный цвета	135
Структура ICC-профиля	137
Просмотр профиля ICC	143
Модель Matrix/Shaper	145
Колориметрические режимы (Rendering Intent)	147
Абсолютная точка белого	149
Цветовые модели RGB, CMYK, HSV, HSL	151
Цветовое пространство CIE XYZ	154
Цветовое пространство CIE $L^*u^*v^*$	155
Пространство CIE $L^*a^*b^*$	156
Значения Delta E	157
Стандартные источники света	159
Серия A (лампы накаливания)	160
Серия D (дневной свет)	161
Серия F (люминесцентные лампы)	162
Режимы измерения M0, M1, M2	163
Стандарт CIE 1924	164
Стандартный наблюдатель CIE 1931	166
Наблюдатель Стайлса и Берча	167
Наблюдатель CIE 1964	168
Наблюдатель Джадда и Восса	169
Наблюдатель Шоу и Фэйрчайлда	171

Наблюдатель CIE 2012	172
Цифровое представление цвета	173
CMM LittleCMS	176
Подробно о рендеринге цвета	179
Одномерные и многомерные таблицы LUT	182
Особенности ОС Linux	185
Как включить поддержку 10-битного вывода	190
Поддержка команд MCCI и DDC/CI	193
Управление цветом в Linux	195
Поддержка DCP	197
Поддержка DNG	198
Файл цветового профиля монитора	199
Загрузка профилей ICC в ОС Linux	200
Переменная _ICC_PROFILE	202
LUT монитора	204
Программы, поддерживающие управление цветом	206
Системный демон colord	207
Свойства дисплея для фоторабот	209
Необходимость системы управления цветом для фотографа	211
Зачем фотографу нужно калибровать дисплей?	213
Конец ознакомительного фрагмента.	215

Иван Титаренко

Руководство

пользователя ArgyllCMS

**И.Г. Титаренко, Система
управления цветом ArgyllCMS**

GNU Free Documentation License 1.3

Москва 2026

978-0-386-03380

Введение

Программный комплекс ArgyllCMS

Приложение для Android

Почему был создан программный комплекс ArgyllCMS

Поддерживаемые операционные системы

Колориметры и спектрометры

Авторское право, лицензирование и товарные знаки

Графические пользовательские интерфейсы

Основные инструменты и командная строка

Основные инструменты (по категориям)

Диагностические и тестовые инструменты

Другие инструменты ArgyllCMS

Краткое введение в управление цветом

Обзор программного пакета ArgyllCMS

Настройка монитора и целевых устройствах

Особенности работы с дисплеями

Измерение частоты обновления

Типы дисплеев

Широкоформатные дисплеи и колориметры

Файлы спектральной коррекции

Необходимость быстрого колориметра

Профили ICC и намерения

Особенности ICC версии 2

Особенности ICC версии 4

Калибровка и профилирование

Искажения черного цвета

Оценка целевых входных данных

Настройка производительности

Форматы файлов ArgyllCMS

Установка переменных среды

Переменная ARGYLL_NOT_INTERACTIVE

Переменная ARGYLL_3D_DISP_FORMAT

Переменная ARGYLL_COLMTER_CAL_SPEC_SET

Переменная

ARGYLL_MIN_DISPLAY_UPDATE_DELAY_MS

Переменная

ARGYLL_DISPLAY_SETTLE_TIME_MULT

Переменная ARGYLL_DISPLAY_FAKE_RAND_SEED

Переменная

ARGYLL_CREATE_WRONG_VON_KRIES_OUTPUT_CLA

Переменная

ARGYLL_CREATE_DISPLAY_PROFILE_WITH_CHAD

Переменная

ARGYLL_CREATE_DISPLAY_PROFILE_WITHOUT_CHA

Переменная

ARGYLL_CREATE_OUTPUT_PROFILE_WITH_CHAD

Переменная

ARGYLL_CREATE_V2COLORANT_TABLE

Переменная ARGYLL_PLATFORM_OVERRIDE

Переменная ARGYLL_CCAST_DEFAULT_RECEIVER

Переменная ARGYLL_IGNORE_XRANDR1_2

Переменная ARGYLL_IGNORE_XINERAMA

Переменная ARGYLL_USE_COLORD

Переменная ARGYLL_DISABLE_I1PRO2_DRIVER

Переменная ARGYLL_EXCLUDE_SERIAL_SCAN

Переменная ARGYLL_XRGA

Переменная ARGYLL_UNTWIST_GAMUT_SURFACE

Переменная XDG_CACHE_HOME

Переменная XDG_CONFIG_DIRS XDG_DATA_DIRS

Переменная I1D3_ESCAPE

Переменная I1D3_DISABLE_AIO

Переменная SPYD2024_LOWLEV_MEASURE

Ограничения ArgyllCMS

Аддитивный и субтрактивный цвета
Структура ICC-профиля
Просмотр профиля ICC
Модель Matrix/Shaper
Колориметрические режимы (Rendering Intent)
Абсолютная точка белого
Цветовые модели RGB, CMYK, HSV, HSL
Цветовое пространство CIE XYZ
Цветовое пространство CIE $L^*u^*v^*$
Пространство CIE $L^*a^*b^*$
Значения Delta E
Стандартные источники света
Серия A (лампы накаливания)
Серия D (дневной свет)
Серия F (люминесцентные лампы)
Режимы измерения M0, M1, M2
Стандарт CIE 1924
Стандартный наблюдатель CIE 1931
Наблюдатель Стайлса и Берча
Наблюдатель CIE 1964
Наблюдатель Джадда и Восса
Наблюдатель Шоу и Фэйрчайлда
Наблюдатель CIE 2012
Цифровое представление цвета
CMM LittleCMS
Подробно о рендеринге цвета

Одномерные и многомерные таблицы LUT

Особенности ОС Linux

Как включить поддержку 10-битного вывода

Поддержка команд MCCS и DDC/CI

Управление цветом в Linux

Поддержка DCP

Поддержка DNG

Файл цветового профиля монитора

Загрузка профилей ICC в ОС Linux

Переменная _ICC_PROFILE

LUT монитора

Программы, поддерживающие управление цветом

Системный демон colord

Свойства дисплея для фоторабот

Необходимость системы управления цветом для фотографа

Зачем фотографу нужно калибровать дисплей?

Наблюдатель и сопоставление цветов

Метамерный отказ

Визуальное изучение дисплея

Сценарии и примеры профилирования дисплея

Создание тестовых патчей дисплея

Советы по измерению дисплея

Зависимость от типа дисплея

Точность калибровки и профилирования

Дисплеи без доступа к VideoLUT

Профиль для просмотра видеоконтента

Профилирование для просмотра видеоконтента

Проверка калибровки и профилирования

Связывание профилей

Преобразование цветовых пространств растровых файлов

Применение fakeread для воссоздания профилей

Устройства ввода: сканеры и фотокамеры

Профилирование принтеров

Создание тестовой диаграммы профиля печати

Считывание контрольной таблицы с помощью прибора

Создание профиля принтера

Выбор кривой генерации черного принтера СМΥК

Программа applycal

Программа average

Программа cb2ti3

Программа cctiff

Программа csxxmake

Программа chartread

Программа collink

Программа colprof

Программа colverify

Программа cxf2ti3

Программа dispcal

Руководство по настройке управления дисплеем

Предостережения при работе с dispcal

Программа dispread

Программа dispwin
Программа extracticc
Программа extracttag
Программа fakeCMY
Программа fakeread
Программа greytiff
Программа iccdump
Программа iccgamut
Программа icclu
Программа iccvcgt
Программа illumread
Программа invprofcheck
Программа kodak2ti3
Программа ls2ti3
Программа oeminst
Программа printcal
Программа printtarg
Программа profcheck
Программа refine
Программа revfix
Программа scanin
Программа spec2cie
Программа specplot
Программа splitti3
Программа spotread
Программа synthcal

Программа synthread

Программа targen

Программа tiffgamut

Программа timage

Программа txt2ti3

Программа viewgam

Программа xicclu

Справочная информация

GNU AFFERO GENERAL PUBLIC LICENSE

Введение

В основе руководства лежит текст Грэма Гилла (Graeme Gill). Исследователь и программист Грэм Гилл написал обширную справку, затрагивающую практически все возможные аспекты работы с собственной открытой системой управления цветом ArgyllCMS (Argyll Color Management System).

Текст Грэма Гилла распространяется в соответствии с условиями GNU Free Documentation License (версии 1.3), дополнен небольшими справками, необходимыми для пояснения работы программного комплекса с операционной системой Linux.

*Также, чтобы объяснить сложные места руководства, в статьи были добавлены технические пояснения, выделенные тремя звездочками (***). В частности, при составлении справок я руководствовался замечаниями программистов и фотографов Нормана Корена, Андерса Торгера, Тома Хаффмана, других специалистов и разработчиков программного обеспечения.*

Все дополнения к статьям, справки и текст также распространяется с требованиями GNU Free Documentation License (версии 1.3).

**** GNU Free Documentation License (лицензия свободной*

документации GNU), GNU FDL (GFDL) — копилефт-лицензия, разработанная Фондом свободного программного обеспечения как дополнение к GNU GPL, популярной лицензии для свободного ПО. Как и GNU GPL, она дает лицензиату права на воспроизведение, распространение и изменение исходной работы, однако требует, чтобы все копии и производные работы также распространялись под GFDL.

Программный комплекс ArgyllCMS

Текущая версия 3.5.0 (4 февраля 2026 г.)

ArgyllCMS — это программный комплекс и совместимая с ICC система управления цветом, доступная в виде открытого исходного кода. ArgyllCMS поддерживает точное создание профилей ICC для сканеров, камер и видеорегистраторов, а также калибровку и профилирование дисплеев и принтеров RGB и CMYK. Для профилирования доступны широкие возможности, включая специализированные стандарты калибровки видео и создание 3D LUT таблиц.

ArgyllCMS применяет оптимизированные алгоритмы для быстрого 8-битного преобразования растрового цвета, а также обеспечивает поддержку точного 16-битного преобразования. Гамуты устройств можно просматривать и анализировать с помощью современных веб-браузеров, поддерживающий X3DOM.

Для основных программных инструментов предоставляется подробная документация, доступно общее руководство для типичных задач управления цветом (сценарии).

Для поддержки пользователей с продвинутыми навыками существует список рассылки <https://www.argyllcms.com/maillinglist.html>.

В состав программного комплекса ArgyllCMS входит уни-

версальная библиотека доступа к формату профилей ICC V2 icclib, а также библиотека ввода-вывода формата CGATS.

*** *8-битное преобразование растрового изображения* — процесс приведения изображения к цветовому режиму, использующему 8 бит на пиксель (8 bpp), что позволяет отобразить максимум 256 цветов или оттенков (индексированный цвет).

*** *16-битное преобразование растрового цвета (High Color)* — процесс кодирования каждого пикселя изображения с использованием 16 бит (2 байта) данных, что позволяет отобразить до 65536 (2^{16}) различных оттенков.

Приложение для Android

ArgyllPRO ColorMeter — приложение для Android, предназначенное для планшетов и телефонов, позволяющее применять подключенные через порт USB портативные устройства для работы с цветом. Если вам необходимо измерять и записывать данные цвета или света для полиграфии, фотографии, графического дизайна, телевидения, кино или видео, рекомендуется посмотреть 2-минутный обзор и видеопособие приложения.

Почему был создан программный комплекс ArgyllCMS

За прошедшие годы было разработано множество коммерческих и исследовательских электронных систем цветокоррекции, но самые современные системы являются собственностью той или иной компании, их технологии тщательно охраняются. Это делает данную интересную область сложной как для изучения, так и для преодоления разрыва между теорией и практикой.

Программы ArgyllCMS были разработана, чтобы помочь улучшить понимание работы с цветом, получить экспертные знания в области цветокоррекции, а также в качестве платформы для апробации альтернативных подходов к электронной цветокоррекции и разработки новых функций.

Автор надеется, что предоставив исходный код программы под лицензиями свободного и открытого программного обеспечения, он сможет заинтересовать и принести пользу другим исследователям и экспериментаторам. Автор также надеется, что ArgyllCMS может стать привлекательной программной платформой, на которой можно будет строить будущие исследования для новых достижений в области электронных систем цветокоррекции.

В дополнение к вышеизложенным целям, разработчик на-

деется в какой-то момент превратить свои заметки, написанные при создании этого программного обеспечения, в более понятное объяснение того, как работает и на каких принципах основан программный комплекс ArgyllCMS.

Поддерживаемые операционные системы

На сегодняшний день ArgyllCMS компилируется и запускается как минимум в следующих операционных системах: MS Windows XP (Microsoft VC++ 6.0, 8.0, 9.0 Express + Platform SDK & etc); MS Windows 2000, Vista и Windows 7 (32-бит), MS Windows Vista (64-бит), Windows 7, 8, 8.1, 10, 11 (64-битные версии), MS Windows 10 (Microsoft VC++ 19.0); Linux 32-бит & 64-бит, gcc; Apple OS X 10.3-10.12 PPC, GCC; Apple OS X 10.7 Intel, Clang; Apple M1, Rosetta 2. (Очевидно, ArgyllCMS может компилироваться и корректно работать на многих других операционных средах.)

Обратите внимание, ArgyllCMS — это среда, предназначенная исключительно для работы с командной строкой. Это очень удобно, если вы желаете автоматизировать процесс калибровки и профилирования.

Колориметры и спектрометры

Поддерживаются многие приборы для измерения цвета, например, от фирм JETI или Klein (K10-A), DTP20, DTP22, DTP41, DTP41T, DTP51, DTP92, DTP94, ColorMunki (Design, Photo, i1Studio), ColorChecker Studio. Eye-One Display 3, i1 DisplayPro, Spectrolino, Eye-One Monitor, CalMAN X2, Spyder 2, Spyder 3, Spyder 4, Spyder 5, Spyder & SpyderPro (2024), Colorimètre HCFR и другие.

Поддержка некоторых приборов может осуществляться косвенно, поскольку файлы результатов обработки, созданные иными программами, допускается импортировать для программ ArgyllCMS. Возможен вариант, когда данные неподдерживаемых спектрометров или колориметров будут передаваться через текстовой файл или именованный канал.

Более подробную информацию о работе конкретных приборов см. на сайте ArgyllCMS <https://www.argyllcms.com/>

Если вы решили приобрести устройство для измерения цвета, потому что программы ArgyllCMS его поддерживают, пожалуйста, сообщите дилеру и производителю: «Мы приобрели прибор, потому что ArgyllCMS его поддерживает». Заранее спасибо!

*** *Именованные каналы (FIFO) в операционных системах, например, Linux — это специальный тип файлов в фай-*

ловой системе, действующий как канал передачи данных (pipe) между процессами. Каналы позволяют организовать взаимодействие неродственных процессов, где один процесс записывает данные, а другой читает их, работая по принципу «первым пришел — первым обслужен» (FIFO).

Авторское право, лицензирование и товарные знаки

Практически весь исходный код и предоставленные исполняемые файлы являются объектами авторского права, распространяемыми по лицензии Affero GNU версии 3, и поэтому программы (или производные от них) нельзя копировать, продавать или предоставлять пользователям без предоставления исходного кода.

Ничто, кроме вашего согласия и соблюдения лицензии Affero GNU, не дает вам права использовать, изменять или распространять исходный код ArgyllCMS, исполняемые файлы или производные от них. Вы рискуете быть привлеченными к ответственности за нарушение авторских прав, и может потребоваться возмещение убытков, если вы используете или распространяете ArgyllCMS или производные программы без указанной действующей лицензии. Лицензия Affero GNU запрещает расширение этих инструментов и распространение их, если все элементы расширений или производные программы также не предоставляются под лицензией, совместимой с GPL.

Обратите внимание, что пользовательские интерфейсы (фронтенды) или графические интерфейсы пользователя (GUI) являются производными программами, поскольку они

применяют ArgyllCMS для определения своего дизайна, деталей реализации и функциональности, независимо от того, включен ли в них код ArgyllCMS или нет.

Допускается предоставление инструментов ArgyllCMS вместе с другими компонентами, не соответствующими GPL, если элементы пакета не связаны между собой, в том случае, когда упаковка представляет простое агрегирование. Для получения подробной информации, пожалуйста, ознакомьтесь с прилагаемой лицензией.

Обратите внимание, что если вы хотите включить код в коммерческий продукт или продукт, не распространяемый по лицензии GPL, вам потребуется заключить коммерческое лицензионное соглашение. Многие части кода ArgyllCMS являются узкоспециализированными с технической точки зрения, потребовали значительных знаний и времени для разработки и поддержки, стоимость лицензирования будет это отражать. Успешное заключение коммерческого лицензионного соглашения не гарантировано, поэтому настоятельно рекомендуется не разрабатывать коммерческие продукты или продукты, не распространяемые по лицензии GPL, использующие ArgyllCMS, до тех пор, пока такое лицензионное соглашение не будет заключено.

В отличие от многих коммерческих инструментов для профилирования и создания файлов формата ICC, профили, созданные с помощью ArgyllCMS, не подлежат каким-либо претензиям или ограничениям со стороны авто-

ра(ов) ArgyllCMS, считаются собственностью лица, которое собирает данные о характеристиках и инициирует создание профилей.

ArgyllCMS является собственностью Грэма У. Гилла, авторские права на него принадлежат ему с 1995 по 2024 г. ArgyllCMS распространяется в соответствии с условиями лицензии GNU General Public License версии 3, подробно описанными в файле License.txt.

Документация распространяется в соответствии с условиями лицензии GNU Free Documentation License версии 1.3. Автор заявляет о своих моральных правах на этот материал в отношении авторства и целостности этих работ. В частности, если эти работы модифицированы и это существенно изменяет их функциональность, то модифицированные работы должны быть переименованы таким образом, чтобы их можно было отличить от «Argyll» или «ArgyllCMS» и чтобы последствия таких изменений не отражались на целостности оригинальных работ или репутации автора(ов).

«ArgyllCMS» — это товарный знак. Допускается называть копии или производные данного программного обеспечения идентичными ArgyllCMS, если они существенно не изменены и сохраняют всю функциональность, предоставляемую программным обеспечением, доступным на сайте www.argyllcms.com. Модифицированные версии данного программного обеспечения, в которые внесены существенные изменения или отсутствует функциональность, должны

быть обозначены как таковые, чтобы избежать путаницы с ArgyllCMS.

Графические пользовательские интерфейсы

ArgyllCMS напрямую не поддерживает графический пользовательский интерфейс, но некоторые программисты разработали для него GUI. Популярный пример такого интерфейса, поддерживающий калибровку и профилирование дисплея — программа-оболочка «DisplayCAL» от Флориана Хега. Для профилирования принтеров можно обратить внимание на «The Little ArgyllCMS GUI» от Рассела Коттрелла, а для камер или сканеров на программу «CoSa», поддерживаемую Уго Родригесом, изначально созданную Эндрю Лонгом.

*** *GUI (Graphical User Interface) — графический интерфейс пользователя, позволяет управлять программой или устройством с помощью визуальных элементов.*

Основные инструменты и командная строка

Для всех инструментов командной строки (или оболочки DOS) требуется задать соответствующие параметры, за которыми следуют аргументы или имена файлов. Иногда имена файлов должны включать обычные расширения, иногда программы автоматически создают файлы со своими расширениями. Чтобы получить краткий список возможных аргументов, запустите ту или иную программу с аргументом "-?", например, **targen -?**, или с каким-либо другим флагом, если символ "?" обрабатывается особым образом в вашей оболочке, например, введите "--" в zsh для OS X.

В общем случае управление производится через флаги (опции или параметры), за которыми следуют аргументы. Все аргументы должны быть разделены пробелами. Если нужно указать строку с пробелами, заключите строку в двойные кавычки. Флаг состоит из дефиса, присоединенного к одной букве, которая идентифицирует флаг (опцию). Обычно буква чувствительна к регистру. Параметр — это флаг, имеющий связанный с ним аргумент (или несколько аргументов). Аргумент может быть отделен от флага пробелом или может располагаться непосредственно после флага.

Флаги (опции), как правило, могут располагаться в любом

порядке, но должны предшествовать аргументам. Для некоторых специальных инструментов вы фактически указываете последовательность флагов и файлов, где флаги применяются только к следующему файлу.

Таким образом, примеры вызовов могут выглядеть так:

```
tool -v testin.xxx testout.yyy
```

```
tool -d3 -M testin1.yyy testout2.xxx
```

```
tool -f infile.zzz outfile
```

```
tool -f 45 basename
```

```
tool -d 3 -f67 infile.xy outfile.ab
```

Для применения инструментов необходимо отслеживать местоположение различных файлов, их имена. Например, для этого можно поместить каждый профиль источника и все связанные с ним файлы (тестовые таблицы, значения, полученные с помощью спектрометра и т.д.) в определенный каталог для каждого типа профиля источника. Профили устройств можно хранить в иерархии каталогов, упорядоченных по типу устройства и т.д.

Естественно, вам потребуется установить системную переменную \$PATH, чтобы запускать инструменты из любого каталога, в котором вы находитесь, а также указать необходимые пути к каталогам как аргументы для программ.

Инструменты ArgyllCMS обрабатывают расширения файлов двумя способами. В одном случае вы указываете расширение (т.е. полное имя файла), поэтому расширение зависит от вас. В другом случае, та или иная программа самостоя-

тельно добавляет расширение к имени файла. Поэтому имя файла называется «базовым именем».

*** *Системная переменная \$PATH — специальная переменная окружения, которая указывает операционной системе (Windows, Linux или macOS), в каких директориях нужно искать исполняемые файлы (программы и скрипты), когда вы вводите их название в командной строке в терминале.*

Основные инструменты (по категориям)

Калибровка устройства проводится с помощью следующих программ: `dispcal` предназначена для настройки, калибровки и профилирования дисплея; программа `printcal`, создание файла калибровки принтера `.cal` из файла данных `.ti3`.

Следующие программы создают тестовые мишени для профилирования или калибровки печати: `targen` создает файл с целевыми значениями для профилирования в формате `.tif`; `filmtarg` создает TIFF-файлы, `printtarg` создает файлы PS, EPS или TIFF, содержащие значения тестовых патчей.

Получение результатов тестирования для профилирования или калибровки (в том числе для принтеров) обеспечивают следующие программы: `chartread` считывает тестовой таблицы с помощью прибора и создает файл данных `.ti3`, `dispread` тестирует (и считывает) колориметрические значения дисплея; `filmread` считывает колориметрические значения с помощью сканера.

Программа `illumread` применяет прибор для измерения спектра источника света и оценки содержания УФ-излучения; программа `fakeread` имитирует показания устройства с подключенным профилем ICC или MPP. Программа `synthread` имитирует показания устройства с использовани-

ем синтетической модели устройства. Программа `cb2ti3` преобразует тестовую таблицу формата CMY/RGB для людей с дальтонизмом в формат ArgyllCMS .ti3 CGATS. Программа `kodak2ti3` преобразует таблицы формата CMYK для Kodak Colorflow в формат ArgyllCMS .ti3 CGATS; `txt2ti3` преобразует таблицы Gretag/Logo/X-Rite/Barbieri или другого формата RGB или CMYK в формат ArgyllCMS .ti3 CGATS. Программа `sxf2ti3` преобразует эталонные и тестовые таблицы формата X-Rite CxF3 в формат .cie или ArgyllCMS .ti3 CGATS; `ls2ti3` преобразует LightSpace RGB .bcs в формат ArgyllCMS .ti3 CGATS. Программа `fakeCMY` создает фиктивный файл данных ArgyllCMS .ti3 CMY на основе профиля CMYK (как основу для создания усредненного цветоделения CMY-CMYK).

Создание профилей устройств обеспечивают следующие инструменты: программа `colprof` создает ICC-профиль RGB, CMY или CMYK из тестовых данных .ti3; `mppprof` создает профиль модели принтера (MPP) из тестовых данных .ti3; `revfix` восстанавливает данные таблицы B2A профилей устройств, инвертируя таблицу A2B.

Преобразование цветов или калибровку печати осуществляют следующие инструменты: программа `sstiff` преобразует файл TIFF или JPEG, используя последовательность файлов ICC-устройства, ссылок на устройство, абстрактных профилей и калибровочных файлов; `aprpyscal` применяет калибровочные кривые к ICC-профилю. Программа `icclu` выполня-

ет поиск отдельных значений цвета в любой таблице ICC-профилей; `xisclu` выполняет поиск отдельных значений цвета в прямом или инвертированном виде в ICC-профиле, `CAL` или таблице `vcgt`, отображает их содержимое; `mrplu` выполняет поиск отдельных значений цвета в MPP-профиле. Также создает файлы/представления MPP-цветового охвата. Программа `greytiff` преобразует файл TIFF в монохромный, используя ICC-профиль устройства.

Инструменты для цветокоррекции: программа `refine` создает абстрактный профиль на основе двух показаний диаграммы, что полезно для уточнения профилей проверки.

Создание цветовых представлений: программа `icsgamut` создает файл гамута или VRML-файл гамута профиля ICC; `tiffgamut` создает файл гамута или VRML-файл цветового охвата изображения TIFF или JPEG; `viewgam` преобразует один или несколько гамутов в 3D-файл визуализации VRML. Вычисляет пересечение.

Диагностические и тестовые инструменты

Следующие программы обеспечивают диагностику:

- ~ программа `iccdump` выводит содержимое профиля ICC в текстовом формате;
- ~ `profcheck` проверяет профиль ICC на соответствие данным тестовой таблицы `.ti3`, создается усеченный файл `.ti3`;
- ~ `invprofcheck` проверяет прямое соответствие ICC обратному поиску;
- ~ `splitsti3` разделяет файл CGATS (например, `.ti3`) на две части случайным образом для проверки профилирования;
- ~ `timage` создает тестовые изображения TIFF;
- ~ `mppcheck` проверяет профиль MPP на соответствие данным тестовой таблицы `.ti3`;
- ~ `spotread` использует прибор для точечного считывания значения цвета;
- ~ `colverify` проверяет соответствие CIE в двух файлах CGATS/`.ti3` (также отображает различия в формате VRML);
- ~ `synthcal` создает синтетический файл калибровки ввода, или вывода (`.cal`) и т.д.

Другие инструменты ArgyllCMS

Следующие программы работают как утилиты или вспомогательные программы:

- ~ extracticc извлекает встроенный ICC-профиль из файла TIFF или JPEG;
- ~ extracttag извлекает текстовый тег (например, данные CGATS .ti3 или CAL) из профиля ICC;
- ~ iccvcgt извлекает или вставляет калибровочный тег vcgt из/в профиль ICC;
- ~ dispwin устанавливает или удаляет профиль дисплея, настраивает калибровку дисплея из профиля или файла .cal, проверяет доступ к дисплею;
- ~ specplot создает спектр (.sp, .cmf, .ccss) и рассчитывает CCT и VCT;
- ~ spec2cie преобразует спектральные показания в формате .ti3 или .sp в показания CIE XYZ и D50 L*a*b*. Преобразует в/из стандарт(a) XRGB.

С помощью спектрометра можно самостоятельно создать матрицу коррекции колориметра (CCMX) или набор калибровочных спектров колориметра (CCSS) для конкретного дисплея.

*** *LightSpace CMS* — популярная программа для создания 3D LUT (Look-Up Table) таблиц и калибровки дисплея.

ев под стандарты цветовых пространств RGB (такие как sRGB, DCI-P3). Она обеспечивает эталонную точность передачи цвета.

Краткое введение в управление цветом

Управление цветом — способ решения многих проблем, возникающих во время работы устройств захвата и вывода цвета. Такие устройства — это фотокамеры, сканеры, дисплеи, принтеры и т.д. У них разные цветовые возможности и разные способы работы с цветом.

Однако в современном мире каждое устройство, как правило, является лишь частью цепочки устройств и приложений, обрабатывающих цвет, поэтому важно, чтобы существовали стандарты и средства для обмена информацией между этими устройствами о том, что подразумевается под цветом.

Успешное управление цветом позволяет различным устройствам захватывать, обмениваться и воспроизводить цвета согласованно, чтобы минимизировать влияние любых технических ограничений на каждое устройства.

При этом учитываются фундаментальные характеристики зрения, оказывающие влияние на взаимодействие человеческого зрения и устройств (например, адаптация глаза к белой точке).

Управление цветом также позволяет влиять на выбор компромиссных решений для преодоления ограничений

устройств.

Ключевым методом реализации систем управления цветом является сопоставление видимого цвета с числовыми значениями представления цвета, которые создаются в процессе работы принтера или фотокамеры.

Человеческий глаз имеет 3 типа рецепторов, отвечающих за цветовое зрение: длинноволновые, средневолновые и коротковолновые.

Поскольку существует 3 рецептора, восприятие цвета человеком считается трехмерным явлением, и поэтому для передачи информации о цвете необходимо как минимум 3 информационных канала.

Любое устройство, способное воспринимать или воспроизводить цвет, должно иметь 3 канала или больше. Любое числовое представление полного диапазона цветов также должно иметь как минимум 3 компонента и может быть интерпретировано как точка в трехмерном пространстве. Подобное числовое представление называется цветовым пространством.

Как правило, устройства захвата и вывода цвета предоставляют свои собственные цветовые пространства для аппаратных интерфейсов.

Собственное цветовое пространство обычно связано с конкретной технологией, которую устройства используют для захвата или воспроизведения цвета. Приборы, излучающие свет, часто излучают длины волн красного, зеленого и

синего (RGB) диапазонов, поскольку именно эти цвета особенно эффективно стимулируют рецепторы человеческого глаза: для устройств захвата R, G и B примерно соответствуют спектральной чувствительности рецепторов нашего глаза.

Устройства, работающие на белом фоне, требующие внешнего освещения и фильтрующие (или вычитающие) цвета, как правило, применяют фильтры (или красители) голубого (Cyan), пурпурного и желтого цветов (CMY), при этом часто дополняемые черным каналом (модель CMYK).

Голубой фильтр отфильтровывает красные длины волн, пурпурный — зеленые, а желтый — синие, позволяя независимо контролировать количество отражаемого или пропускаемого RGB-излучения.

Поскольку невозможно создать фильтры, которые идеально блокируют C, M или Y цвета без перекрытия друг с другом, фильтры C+M+Y пропускают часть света от широкополосных источников, что приводит к несовершенному черному цвету.

Дополнительный черный фильтр (краситель) позволяет улучшить черный цвет, но такой избыточный канал значительно усложняет выбор значений красителей для создания любого конкретного цвета.

Многие цветные устройства имеют электронные механизмы для изменения способа реагирования на цвет или его воспроизведение, и такие функции называются настройками или калибровкой.

Эти функции могут быть очень полезны для адаптации устройства к конкретной ситуации, для согласования различных устройств между собой, для поддержания постоянного стабильного поведения при изменении компонентов или окружающей среды.

Иногда в устройстве могут происходить внутренние преобразования, чтобы отображать в аппаратном интерфейсе тип цветового пространства. Некоторые сложные приборы имеют встроенные средства эмуляции поведения других приборов.

Для того чтобы передать то, как мы видим цвет, необходим общий «язык», и научная основа для такого языка была заложена Международной комиссией по освещению (CIE) в 1931 году, когда было создано и описано цветовое пространство CIE 1931 XYZ.

Цветовое пространство позволяет предсказывать, какой спектр света будет соответствовать воспринимаемому цвету для стандартного наблюдателя. Стандартный наблюдатель — это описание типичной реакции человеческого глаза в данных условиях наблюдения. Такое цветовое пространство называется независимым от устройства, поскольку оно не связано с конкретной технологией устройств захвата или воспроизведения.

Также существуют связанные цветовые пространства, являющиеся прямыми преобразованиями пространства XYZ, такие как пространство $L^*a^*b^*$ — однородное с точки зре-

ния восприятия цветовое пространство, не зависящее от конкретного устройства.

Как говорилось выше, ключ к управлению цветом заключается в возможности связывать различные цветовые пространства таким образом, чтобы их можно было сравнивать друг с другом, а также преобразовать одно в другое.

Наиболее практичный подход к этому — связать все цветовые пространства с одним общим цветовым пространством. Цветовое пространство CIE XYZ можно считать логичным выбором для данной задачи.

Описание взаимосвязи между собственным цветовым пространством устройства и цветовым пространством на основе XYZ обычно называется цветовым профилем.

В практическом плане при работе с компьютерами важно иметь общий и понятный способ передачи таких профилей между программным обеспечением.

Формат профилей ICC, стандартизированный Международным цветовым консорциумом, сегодня считается широко поддерживаемым форматом цветовых профилей.

Формат профилей ICC называет свое общее цветовое пространство пространством соединения профилей (PCS), оно тесно связано с пространством CIE XYZ. Профили ICC поддерживают теги, поэтому такие профили очень гибкие и могут содержать также множество другой, иногда необязательной, информации.

Существует несколько основных типов профилей ICC:

профили устройств (а) и именованные (б) профили для точки привязки цвета, также профили Device Link (в) и абстрактные (г) для связи или путей между опорными точками.

Профили устройств (а) в основном обеспечивают преобразование между пространством устройства и PCS. Они также обеспечивают преобразование в обратном направлении, из PCS в пространство устройства. Они дают «цветовой якорь», с помощью которого мы можем ориентироваться в цветовом пространстве устройства.

Профиль Device Link (в) обеспечивает преобразование из одного пространства устройства в другое. Обычно это результат связывания двух профилей устройства, т.е. Устройство1 -> PCS -> Устройство2. Это приводит к прямому преобразованию Устройство1 -> Устройство2.

Абстрактный профиль (г) содержит преобразование, определенное в пространстве PCS. Обычно это некоторая корректировка цвета независимым от устройства способом.

Именованный профиль (б) аналогичен профилю устройства, но содержит список именованных цветов и эквивалентные значения PCS и, возможно, устройств.

Когда говорят о «профилях ICC», имеют в виду профили устройств. Профили основаны на наборе математических моделей, определяющих преобразование из одного цветового пространства в другое. Модели имеют общую структуру, в то время как конкретный профиль определяет область применения модели, а также ее параметры, приводящие к кон-

клетному преобразованию.

Профили обычно необходимы для модулей управления цветом (СММ): это особый вид программного обеспечения (возможно, аппаратно реализованный), способный считывать и интерпретировать ICC-профиль и выполнять содержащееся в нем преобразование.

**** СММ (Color Management Module) — программный механизм (или «цветовой движок»), который пересчитывает цвета при переходе с одного устройства на другое. Он является главным ядром системы управления цветом (CMS).*

Часто функция СММ заключается в том, чтобы взять два профиля устройств, один из которых дает начальную точку, а другой конечную, и создать преобразование между ними, применяя его к значениям пикселей изображения.

В ICC-профилях могут применяться две основные модели: модель матрицы/шейпера и модель таблицы цветов (сLUT).

Модели могут включать несколько систем обработки, они применяются одна за другой для общего преобразования.

Модель матрицы/шейпера состоит из набора кривых поиска для каждого канала и матрицы 3x3. Кривые могут быть определены как одно степенное значение или как одномерная таблица поиска, кодирующая дискретно представленную кривую (LUT). Матричный шаг способен преобразовывать только между трехмерными цветовыми пространствами.

Модель сLUT состоит из необязательной матрицы 3x3,

набора одномерных таблиц поиска для каждого канала, а также n -мерной таблицы поиска (cLUT).

Такая модель может преобразовывать входные данные любой размерности в выходные данные любой размерности.

Все таблицы поиска интерполированы, поэтому, хотя они определяются набором точечных значений, промежуточные значения заполняются с помощью интерполяции (обычно линейной).

Для одномерной таблицы поиска количество точек, необходимых для ее определения, равно ее разрешению.

Для n -мерной таблицы cLUT количество точек, необходимых для ее определения, равно ее разрешению, возведеному в степень количества входных каналов.

Из-за этого количество записей цветового пространства быстро увеличивается с ростом размера и разрешения, и для ограничения размера файла профиля (и сокращения времени обработки) используются типичные таблицы с ограниченным разрешением.

Таблицы cLUT позволяют осуществлять детальный, независимый контроль над преобразованием во всем цветовом пространстве, но могут быть не такими плавными (визуально), как матрицы.

Хотя цветовое пространство CIE XYZ является хорошей основой для сопоставления измеряемого и видимого цветов, оно имеет свои ограничения.

Основное ограничение заключается в том, что визуальное

соответствие двух цветов с одинаковыми значениями XYZ предполагает идентичные условия просмотра.

Наши глаза удивительно адаптивны, автоматически подстраиваются к различным условиям освещения, что позволяет нам извлечь максимальное количество полезной визуальной информации из внешнего мира.

Существует множество практических ситуаций, в которых условия просмотра не идентичны — например, при сравнении фотографический изображений с реальным пейзажем, или при просмотре изображений рядом друг с другом при разной освещенности.

Одним из важных изменяющихся факторов считается адаптация человеческого глаза к точке белого того, на что мы смотрим.

**** Точка белого (White Point) — эталонный стандарт цвета, который определяет, как именно должен выглядеть чисто белый цвет. Это понятие используется в фотографии, видео, полиграфии и при настройке дисплеев. Например, точка белого D50 имитирует усредненный дневной свет (свет полуденного солнца) с цветовой температурой около 5000 Кельвинов.*

Адаптацию можно учесть в пространстве XYZ, применяя хроматическую адаптацию (она имитирует адаптацию глаза).

Формат профиля ICC PCS по умолчанию адаптирует значения XYZ к общей точке белого (D50), чтобы упростить сопоставление цветов между устройствами с разными точками

белого.

Другие эффекты условий просмотра (уровень яркости изображения, яркость окружающего пространства, блики/засветка) можно смоделировать, например, используя CIECAM02 для изменения значений XYZ.

Еще одно ограничение связано со спектральными предположениями. CIE XYZ применяет модель стандартного наблюдателя для преобразования спектральных значений света в значения XYZ, но на практике у каждого наблюдателя может быть несколько разная чувствительность к цвету из-за биологических различий, включая старение человека. (Также у людей с нарушениями цветового зрения особая, иная спектральная чувствительность.)

Кроме того, в наших глазах есть четвертый рецептор, отвечающий за зрение при низком уровне освещенности: на периферийном зрении или при очень низком уровне освещенности этот рецептор важен для восприятия цвета.

Еще один спектральный эффект заключается в практике отделения цвета отражающих отпечатков от источника света, используемого для их просмотра, путем характеристики цвета отпечатка по его отражательной способности.

Это удобно, поскольку отпечаток, вероятно, будет рассматриваться при разных уровнях света и в разных условиях просмотра, но если цвет сводится к отражательной способности XYZ, эффект детального взаимодействия между спектрами источника света и отпечатка приведет к неточностям.

Обзор программного пакета ArgyllCMS

Практически все современные системы цветокоррекции создают целевые таблицы характеристик устройства, размещая для профилирования регулярную прямоугольную сетку тестовых точек (мишеней, патчей) в пространстве устройства.

**** Цветовое пространство устройства — ограниченный диапазон цветов (цветовой охват), который конкретный монитор, принтер, камера или сканер способны зафиксировать или воспроизвести. Оно определяет, как устройство интерпретирует цветовые сигналы, преобразуя их в конкретные оттенки. Каждое устройство имеет свой охват, например, считаются распространенными sRGB для дисплеев или более широкий охват Adobe RGB для принтеров.*

Программа `targen` из пакета ArgyllCMS тоже генерирует цветовые патчи, если вы запустите ее с опцией `-m`. Но, возможно, такой подход далек от оптимального с технической точки зрения.

Регулярная сетка не только неэффективна для анализа многомерного пространства устройства, но также, если патчи равномерно расположены, не идеальна для определения

базовой характеристики устройства.

Некоторые коммерческие системы цветокоррекции предлагают сначала провести «предварительную линеаризацию» устройств, что сводится к искажению точек регулярной сетки в пространстве устройства с помощью обратной кривой поиска для каждого канала.

Подход, который применяется ArgyllCMS, немного отличается от описанного. В ArgyllCMS доступны как независимый от устройства, так и зависимый подходы. В независимом режиме тестовые точки распределяются таким образом, чтобы минимизировать расстояние от любой точки в пространстве устройства до ближайшего значения тестовой таблицы. Если применяется метод, зависящий от устройства, то патчи выбираются таким образом, чтобы минимизировать ожидаемую ошибку между результирующим профилем и базовым откликом устройства.

Для многомерных пространств, когда цель состоит в создании приблизительного профиля устройства, ArgyllCMS применяет генератор «инкрементальной дальней точки». В этом случае, начиная с предыдущей тестовой точки в качестве начальной, применяется алгоритм минимизации для нахождения точки, максимально удаленной от ближайшей существующей в перцепционном пространстве, оставаясь при этом в цветовом охвате на всех этапах. Это означает, что в идеале каждая точка «заполняет» лакуны распределения.

*** *Многомерное цветовое пространство — это мате-*

матическая модель для точного определения и описания цвета с помощью нескольких числовых координат (более двух или трех).

Другая проблема с размещением тестовых точек в регулярных сетках заключается в том, что происходит плохое дискретизирование отклика устройства, поскольку сетки обычно грубые. Это может сделать невозможным создание подробных кривых линеаризации устройства на основе полученных данных. В идеале, в любом цветовом пространстве, входном или выходном, при просмотре под любым возможным углом, ни одна из тестовых точек не должна совпадать. Генератор целевых точек ArgyllCMS, возможно, достигает этой цели.

При работе с принтерами, программа printtarg создаст PostScript-файл, содержащий шаблоны подготовленных таблиц (например, для таблиц Xrite DTP51/DTP41/SpectroScan). Это позволяет размещать их в дальнейшем на бумаге различных размеров, с соответствующими контрастными цветными разделителями между каждым цветным шаблоном.

В отличие от других таблиц, таблицы ArgyllCMS генерируются по мере необходимости. Также разделители могут быть цветными, что гарантирует необходимый коэффициент контрастности, даже когда плотность двух участков составляет примерно 50%.

Еще одна особенность — псевдослучайное расположение

фрагментов (цветных плашек). Здесь преследуются три цели. Во-первых, это позволяет усреднить любые вариации в отклике устройства в зависимости от расположения фрагмента на бумаге. Во-вторых, случайное расположение плашек обеспечивает программе считывания хороший механизм для детектирования ошибок пользователя. Так, можно угадывать ожидаемые значения, сравнивать их с показаниями и выдавать предупреждения, если кажется, что произошла ошибка.

Наконец, случайное расположение цветных плашек оптимизирует контраст между фрагментами на полосе, чтобы повысить надежность ее считывания. Можно даже создавать небольшие диаграммы без каких-либо промежутков между тестовыми фрагментами.

**** Некоторые (сканирующие) спектрофотометры, способные работать в режиме считывания полос предназначены для быстрого измерения цветовых характеристик или спектральных данных на образцах, имеющих последовательность цветных полос, например, на печатных оттисках (шкалах) или специальных тестовых таблицах.*

Многие основные алгоритмы ArgyllCMS определены классом RSPL (Regular Spline). Класс RSPL тесно связан со структурой таблицы CLUT профилей ICC. Этот формат предоставляет универсальный способ преобразования одного многомерного значения в другом с интерполяции для уменьшения функции преобразования до приемлемого раз-

мера. Класс RSPL в свою очередь добавляет три основных метода к базовой структуре данных.

Регулярные сплайны не связаны напрямую с другими типами сплайнов и, как правило, не страдают от «колебаний» и «перерегулирования», характерных для других сплайновых систем.

*** *RSPL (Regular Spline)* или класс обычных (регулярных) сплайнов относится к математическим функциям для построения плавных кривых, проходящих через заданный набор точек (узлов).

Настройка монитора и целевых устройствах

Настройка параметров монитора и целевого поведения для калибровки сводится к решению двух задач. Во-первых, необходимо понять, на что способно оборудование без возникновения побочных эффектов. Во-вторых, надо определить, что вы пытаетесь сделать.

Существует три причины, по которым вам может потребоваться настроить параметры дисплея и установить целевые значения калибровки.

1) Вы хотите изменить вывод на дисплей в приложениях без управления цветом.

2) Вы хотите изменить базовое поведение дисплея (например, точку белого и яркость), которое обычно не изменяется при управлении цветом на основе профилей.

3) Вы хотите улучшить поведение устройства, чтобы система управления цветом на основе профилей гибче управляла дисплеем.

Вы можете вносить изменения в работу дисплея с помощью элементов управления и/или LUT видеокарты или монитора. Как правило, первый способ имеют меньше побочных эффектов, чем второй.

Однако могут возникать исключения, например, обычные

потребительские ЖК-дисплеи не имеют встроенной возможности управления контрастностью, только яркостью, поэтому контрастность обычно имитируется путем манипулирования кривыми, что может привести к неприятным побочным эффектам. То же самое относится к управлению точкой белого на ЖК-дисплее, если только он не имеет светодиодной подсветки RGB. В целом, ЖК-дисплеи намного менее гибки, чем ЭЛТ или OLED мониторы.

Чтобы не возникали неприятные эффекты при настройке ЖК-дисплея, лучше всего отказаться от изменений уровней яркости подсветки в процессе профилирования.

Яркость зависит от того, что вы пытаетесь сделать. Например, если вы пытаетесь выполнить мягкую цветокоррекцию, вам потребуется определенный уровень яркости, продиктованный жесткими требованиями к цветопробе. Для хорошей цветопередачи и низкой утомляемости желательно, чтобы яркость дисплея примерно соответствовала яркости окружающего освещения.

**** Мягкая (экранная) цветопроба — метод предварительного просмотра цифрового изображения на мониторе. Показывает, как цвета картинка изменятся при печати на бумаге с учетом ограничения палитры CMYK и особенности принтера.*

Во многих случаях все сводится к тому, какое цветовое пространство вы хотите отобразить на дисплее и насколько оно отличается от родного («native», нативного) для этого

дисплея.

Настройка дисплея ЭЛТ может быть гибкой без возникновения побочных эффектов. Но, как было сказано выше, ЖК-дисплеи менее гибкие, поэтому, если вы хотите минимизировать артефакты на дисплее, вам следует установить контрастность и точку белого на их собственные значения (т.е. такие, при которых монитор не изменяет уровни цифрового сигнала).

В сценарии работы с программами Argyll, вероятно, потребуется калибровка только для установки передаточной характеристики и нейтральной оси (точка белого будет оставлена как нативная, исходная).

Для типичных операционных систем типа MS Windows или Linux, вероятно, передаточная кривая ЭЛТ-монитора («гамма») будет около 2,4. Для OS X старых версий гамма устанавливалась 1,8, но сейчас гамма тоже около 2,4 (для версий 10.6 и более поздних).

Точка белого дисплея определяется как D65 (в соответствии со стандартами телевидения), собственная точка белого ЖК-дисплея находится где-то рядом с ней, но это зависит от цвета подсветки.

**** Точка белого D65 — это общепринятый мировой стандарт белого цвета в фотографии, видеопроизводстве и компьютерной графике, утвержденный Международной комиссией по освещению (CIE). Имитирует средний дневной свет со стороны неба, что соответствует цветовой тем-*

пературе около 6500K.

ЭЛТ-мониторы обеспечивают максимальную яркость при намного более высокой точке белого (около 9000K), но точку белого можно уменьшить с некоторыми побочными эффектами с помощью стандартных настроек ЭЛТ-дисплея.

Если у вас есть особые требования (например, для проверки цветопередачи), то вам, возможно, потребуется установить определенную точку белого и яркость, и быть готовым пожертвовать другими параметрами дисплея для достижения этой цели.

Безусловно, чтобы первоначально настроить дисплей, прежде всего используйте какой-то способ управления настройками монитора: с помощью меню OSD или механических элементов управления монитором. И лишь затем загрузите калибровочные кривые для достижения желаемого результата.

Если ваш дисплей после такой настройки сильно отклоняется от собственной (нативной) точки белого, побочные эффекты могут оказаться неприемлемыми.

Особенности работы с дисплеями

Многие колориметры поддерживают выбор типа дисплея. В зависимости от прибора, выбор определяют две связанные функции: (а) изменение режима измерения с функцией учета обновления или без нее, и (б) изменение калибровки в соответствии со спектральными характеристиками конкретного дисплея.

Дисплей с технологией, поддерживающий обновление (развертку), отображает участки изображения в разное время, делая это с достаточно высокой частотой. Эта изменяющаяся во времени характеристика может мешать измерению цвета дисплея, если прибор не учитывает развертку (как правило, при этом период измерения кратный периоду обновления дисплея).

К типам дисплеев с обновлением относятся ЭЛТ (мониторы с электронно-лучевыми трубками), однокиповые DLP и плазменные дисплеи.

Примером технологии дисплея без развертки является ЖК-дисплей (жидкокристаллический).

Приборы, в которых выбор типа дисплея изменяет только режим измерения обычно имеют какой-либо дополнительный независимый параметр для установки типа калибровки. Более простые приборы сочетают режим измерения с выбо-

ром калибровки, обычно это режим обновления (ЭЛТ) и режим без обновления (ЖК).

Некоторые измерительные приборы работают в гибридном режиме (например, колориметр Spyder4), где тип дисплея выбирается как с обновлением или без него, а затем применяется файл .CCSS для установки режима калибровки.

*** Частота обновления ЭЛТ-монитора (электронно-лучевой трубки) — это число, за которое электронный луч полностью отрисовывает в секунду изображение, проходя по экрану сверху вниз. Измеряется в герцах (Гц). В отличие от ЖК-панелей, ЭЛТ мерцает, поэтому частота критически влияет на утомляемость глаз: чем она выше (оптимально 85+ Гц), тем стабильнее картинка и меньше нагрузка на зрение.

*** Одночиповые DLP-проекторы — устройства отображения, использующие один микрочип с множеством крошечных зеркал (DMD) для создания изображения, обеспечивая высокий контраст, компактность и хорошую цветопередачу. Формируют цвет последовательно, чередуя красный, зеленый и синий свет через цветовое колесо.

Измерение частоты обновления

Большинство колориметров с возможностью выбора типа отображения частоты обновления также поддерживают функцию измерения частоты обновления дисплея. (Некоторые спектрометры делают это в режиме эмиссионного измерения.)

Измерение частоты обновления дисплея также можно выполнить в режиме точечного чтения с помощью клавиши «F» (см. программа spotread). Точность измерения может варьироваться в зависимости от конкретного прибора.

*** *Фотометрические эмиссионные измерения — метод анализа, при котором прибор оценивает свет, самостоятельно излучаемый или испускаемый источником (например, дисплеем), а не отраженный от него.*

Типы дисплеев

После установки файлов .edr производителя и эталонных файлов .ccss ArgyllCMS в программах типа dispcal и dispread, spotread доступны, если колориметр поддерживает их, следующие типы дисплея:

- ~ **n**, дисплей без обновления [по умолчанию, CB1];
- ~ **r**, дисплей с функцией обновления — измеряется период обновления, время интеграции корректируется соответствующим образом [CB2];
- ~ **c**, монитор ЭЛТ (например, Hitachi CM2112MET, Diamond View 1772ie и т.д.);
- ~ **i**, GB LED, ЖК-дисплей с люминофорной светодиодной подсветкой GB-R;
- ~ **l**, ЖК-дисплей CCFL IPS (CCFL AC, EIZO, HP с коррекцией);
- ~ **L**, ЖК-дисплей CCFL Wide Gamut IPS (WG CCFL NEC241, 271);
- ~ **b**, ЖК-дисплей RGB LED IPS, светодиоды с широким цветовым охватом (RGBLED HP, SOYO);
- ~ **e**, ЖК-дисплей White LED IPS, стандартные светодиоды (WLED AC, LG, Samsung);
- ~ **o**, OLED, т.е. органические светодиоды;
- ~ **m**, Mini-LED, т.е. ЖК-дисплей с RGB-светодиодной

подсветкой более высокой плотности;

~ **p**, проектор (Marantz, HP, Panasonic и т.д.);

~ **R**, необработанные данные (для калибровки заводской матрицы) [CB2];

~ **h**, ЖК-дисплей с высокой максимальной яркостью;

~ **F**, заводская матрица (для калибровки) [CB1].

По умолчанию время интеграции адаптивное, увеличивается при низком уровне освещенности. Эту функцию можно отключить и использовать фиксированное время интеграции для достижения максимальной скорости за счет значительного снижения точности при низкой освещенности, используя флаг -YA.

*** *RGB LED (Micro/Mini): новое поколение подсветки, где используются RGB-светодиоды, обеспечивая лучшую цветопередачу и контрастность, чем обычные белые светодиоды.*

*** *WLED-монитор (White Light Emitting Diode) — это ЖК-дисплей, использующий белые светодиоды для подсветки матрицы. Это стандартная, энергоэффективная и доступная технология. WLED — самый распространенный тип LED-подсветки.*

*** *Монитор с подсветкой GB LED (Green-Blue LED) — тип жидкокристаллического дисплея, использующий светодиоды зеленого и синего цветов для получения белого света подсветки. Это обеспечивает более широкий цветовой охват (в частности, расширенный охват sRGB и Adobe RGB)*

и лучшую цветопередачу по сравнению с обычными WLED-мониторами.

**** WCG-CCFL (Wide Color Gamut, Cold Cathode Fluorescent Lamp) — технология подсветки ЖК-мониторов и телевизоров, использующая люминесцентные лампы с «холодным» катодом, обеспечивающая расширенный цветовой охват.*

Широкоформатные дисплеи и колориметры

**** Дисплей с широким цветовым охватом (Wide Color Gamut) способен отображать больше оттенков, чем стандартный дисплей sRGB, покрывая пространства DCI-P3 или Adobe RGB. Это обеспечивает насыщенные, реалистичные цвета (особенно в красных/зеленых тонах) и критично для профессиональной работы с фотографией или видео, а также для HDR-контента.*

С появлением дисплеев с широким цветовым охватом многие пользователи заметили, что колориметры плохо работают с ними, в отличие от спектрометров.

Почему так происходит, и что с этим можно сделать?

Колориметры и спектрометры преследуют одну и ту же цель: измерение трехкомпонентных цветовых значений. Но они делают это разными способами. Спектрометр разбивает свет на ряд длин волн, измеряет отклик на каждой, а затем взвешивает и суммирует отклики с помощью весовых кривых стандартного наблюдателя, чтобы получить трехкомпонентные значения CIE XYZ. Поскольку спектрометр вычисляет весовые коэффициенты с помощью программного обеспечения, точность кривых практически идеальна, а основные ошибки обусловлены характером дискретных полос

ДЛИН ВОЛН.

*** *Весовые коэффициенты — это числовые множители, отражающие относительную значимость, «вес» или приоритет конкретного показателя в сравнении с другими факторами в общей оценке или модели.*

В конструкции колориметра применяются оптические фильтры, аппроксимирующие весовые кривые стандартного наблюдателя, значения датчиков измеряются и умножаются на калибровочную матрицу 3×3 для получения трехкомпонентных значений CIE XYZ. Главное преимущество колориметра — его простота, что обеспечивает низкую стоимость прибора.

Кроме того, из-за ограничений по стоимости, оптические фильтры, используемые в этих приборах, могут не очень хорошо соответствовать весовым коэффициентам стандартного наблюдателя CIE. Неточные матрицы колориметров созданы для «типичных» ЭЛТ или ЖК-дисплеев. Дисплей с широким цветовым охватом по своей природе имеет основные цвета с более узкими спектральными характеристиками, чем типичные дисплеи, и это спектральное различие усугубляет аппроксимации и ошибки в фильтрах колориметра.

Как было указано выше, спектрометры имеют математически (программно) вычисленные весовые кривые, они менее чувствительны к спектральным характеристикам основных цветов дисплея, чем колориметры, как правило, лучше работают с дисплеями с широким цветовым охватом.

Существует три подхода к решению проблемы неточности измерений дисплеев с широким цветовым охватом.

Во-первых, можно использовать спектрометр для измерения характеристик дисплеев с широким цветовым охватом. Поскольку сейчас доступны дешевые спектрометры (например, ColorMunki Design/Photo), это может оказаться хорошим универсальным решением.

Второй подход — предварительная коррекция колориметра для конкретного типа дисплея с помощью точного прибора. Это делается производителем, когда колориметр поставляется вместе с дисплеем с широким цветовым охватом: калибровочная матрица 3×3 внутри колориметра «настраивается» под дисплей, или драйвер колориметра или программное обеспечение для управления цветом включает дополнительную корректирующую матрицу 3×3 для данной комбинации колориметр/дисплей.

Третий подход заключается в создании колориметра с фильтрами, близкими к стандартным кривым наблюдателя, что уменьшает необходимость калибровки прибора и снижает его зависимость от типа технологии отображения. Колориметры типа X-Rite i1 DisplayPro, Pantone ColorMunki Display и, возможно, Spyder 4 могут иметь такую конструкцию.

Argyll V1.3.0 поддерживает функции создания и применения корректирующей матрицы к измерениям колориметра. Для создания собственной корректирующей матрицы

необходимы дисплей, колориметр и эталонный спектрометр (см. программу `csxhmake`). Затем созданная корректирующая матрицу может использоваться с обычными утилитами для измерения дисплея (программы `dispcal`, `dispread` и `spotread`). Программа `csxhmake` также позволяет создавать файлы образцов калибровочных спектров для колориметров.

Некоторые современные колориметры предполагают несколько иной подход к калибровке, и вместо predetermined калибровочных матриц 3×3 , они включают кривые спектральной чувствительности для каждого конкретного колориметра (например, i1 DisplayPro и ColorMunki Display, Spyder 4). Таким образом, становится возможным автоматически создавать калибровочные матрицы 3×3 для любого дисплея, спектральные характеристики которого известны.

Это позволяет легко адаптировать измерения колориметра к конкретному типу дисплея без необходимости учитывать каждую комбинацию колориметра и дисплея.

*** *Кривые спектральной чувствительности — графики зависимости отклика рецептора, глаза или прибора от длины волны падающего света. Показывают, насколько сильно система реагирует на разные цвета и энергии излучения.*

Файлы спектральной коррекции

Сегодня существует множество типов дисплеев с разными технологиями вывода изображений. Это могут быть мониторы LCD CCFL (подсветка люминесцентными лампами холодного катода), LCD WGCCFL (подсветка CCFL с широким цветовым охватом), LCD RGBLED (светодиодная подсветка RGB), LCD WLED и т.д.

Это означает, что вам потребуется или очень точный прибор для профилирования, или уже упомянутые файлы коррекции, созданные производителем колориметров. Так, для работы с ArgyllCMS следует скопировать файлы с установочного диска, идущего в комплекте с некоторыми колориметрами X-rite, и преобразовать их в формат CCSS. Для этого в программном пакете ArgyllCMS существует команда **oeminst -v -c**, несколько хакерски извлекающая из архива X-rite необходимые файлы. Но вы можете поступить иначе: скачать с официального сайта X-rite программное обеспечение, возможно, устаревшее (именно в таких программах могут храниться файлы .edr), установить его, затем найти файлы с расширением .edr.

Колориметры привлекательны возможностью точных измерений при слабом освещении и быстротой работы, но их необходимо настраивать для конкретного источника света

(то есть для типа подсветки дисплея или технологии). Спектрофотометры не страдают от таких ограничений при измерении произвольных источников света, но они, как правило, имеют большой шум измерения при низких уровнях освещенности. Это делает их менее способными точно определить тени, что иногда усложняет настройку качественных мониторов.

Поэтому наличие как спектрофотометра, так и колориметра можно считать хорошим выбором для получения точных результатов при измерении параметров любого устройства. Кроме того, только спектрофотометры позволяют создавать профили принтеров.

Как иллюстрация, колориметр i1Display PRO поставляется с коррекцией спектра для несколько типов дисплеев: CCFL LCD, а также с широким цветовым охватом, White LED и RGB LED с широким цветовым охватом и OLED, некоторые плазменные панели, дисплеи с RG-люминофорами (GB-LED), проекторы (DLP или LCD) со сверхвысоковольтными лампами (UHP). Для каждого из этих типов дисплеев доступен файл формата EDR (Emissive Display Reference) от X-Rite.

Необходимость быстрого колориметра

Разработчик ArgyllCMS настоятельно рекомендует использовать быстроработающие приборы. Измерения займут много времени, прибор также будет нагреваться в процессе работы (особенно если он расположен прямо на экране дисплея), что повлияет на показания. Производители специально снижают скорость измерений из коммерческих соображений. Так, X-Rite i1 Display Pro способен осуществлять быстрые измерения, но в более дешевом колориметре ColorMunki Display, судя по всему, технически идентичном i1 Display Pro, скорость программно ограничена. Быстрые инструменты значительно сокращают время, необходимое для их согласования с дисплеем.

Профили ICC и намерения

Профили ICC на основе cLUT (таблиц поиска цветов) поддерживают несколько вариантов цветового восприятия, при этом они имеют отдельную таблицу для каждого варианта.

В типичном профиле устройства может быть до 6 таблиц cLUT: три для ввода (таблицы AtoB, преобразующие цвет из пространства устройства в пространство PCS) и три для вывода (таблицы BtoA, преобразующие цвет из PCS в пространство устройства).

Таблицы позволяют применять различные цветовые преобразования, каждое из которых настроено на следующий эффект: AtoB0 (BtoA0) перцепционный (perceptual), AtoB1 (BtoA1) колориметрический, AtoB2 (BtoA2) насыщенность (saturation).

Колориметрический вариант предназначен для точной передачи цветового поведения устройства без сопоставления с цветовым охватом. Обычно он используется для хранения характеристик устройства, а также если требуется точное воспроизведение цвета, например, для цветопробы.

Колориметрические таблицы используются как относительные, так и абсолютные с восстановлением точки белого. Таблицы, поддерживающие рендеринги перцепционный

(perceptual) и насыщенность (saturation) предназначены для сопоставления цветового охвата вместе с характеристиками устройства. Возможность делать это как в направлении $A \rightarrow B$, так и в направлении $B \rightarrow A$ позволяет профилю отображать цветовой охват от гамуты устройства к некоторому промежуточному гамуту, а затем от промежуточного цветового охвата к цветовому охвату устройства.

(Профили shaper/matrix всегда имеют колориметрическую направленность, поскольку выполняется только одно преобразование, при этом не будет необходимой гибкости для сопоставления цветового охвата.)

Особенности ICC версии 2

Помимо определения общего назначения различных таблиц, спецификация ICC версии 2 не уточняет, как именно следует достигать целей, выбор остается за создателем профиля.

Для PCS не указана общая граница цветового охвата, и такой подход в любом случае ограничивает достижимые намерения (см. ICC версии 4 для объяснения причин).

В профилях, созданных с помощью ArgyllCMS, все таблицы AtoV идентичны колориметрическим. Это означает, что преобразование, используемое для исходного профиля, всегда является колориметрическим. При этом исходный цветовой охват, видимый целевым профилем — это цветовой охват исходного цветового пространства.

Сопоставление цветового охвата выполняется исключительно в таблицах BtoA, их задача — сопоставить гамут исходного цветового пространства с гамутом целевого цветового пространства.

Таким образом, чтобы можно было построить сопоставление цветового охвата для рендеринга таблиц отображения (дисплея) перцепционной и насыщенность, необходимо указать исходный профиль или исходный цветовой охват.

Преимущества этого подхода заключаются в точном опре-

делении поведения, наличия полного спектра вариантов сопоставления цветового охвата, а также в совместимости с матричными профилями (которые не имеют преобразований сопоставления цветового охвата) и другими сторонними профилями с помощью простого применения таких профилей в качестве колориметрических источников.

Существенный недостаток — сопоставление цветового охвата будет работать точно так, как задумано, но только если профиль связан с исходным профилем, для которого он был создан.

Это действительно фундаментальное ограничение идеи наличия предварительно вычисленных преобразований цвета для сопоставления цветового охвата, которые формат профилей ICC был призван поддерживать.

Некоторые профили, отличные от созданных ArgyllCMS, содержат преобразования цветового охвата (perceptual и saturation) в своих таблицах A2B. Поэтому видимый цветовой охват источника в таблицах может отличаться от фактического цветового охвата устройства.

Чтобы обеспечить возможность работы этих профилей с модулями управления цветом (CMM), которые не позволяют отдельно выбирать таблицы намерений для исходного и целевого профилей, программы ArgyllCMS будут использовать цветовой охват, определенный перцепционной таблицей исходного профиля (для создания сопоставления цветового охвата с перцепционной таблицей целевого профиля), а

также исходную таблицу насыщенности для создания целевой таблицы насыщенности.

Это может повлиять на точный характер сопоставления цветового охвата, вызовет искажение исходного гамута, изменит видимое соотношение между ним и целевым цветовым охватом. (Однако поведение по умолчанию можно изменить с помощью флагов программ colprof **-nP** и **-nS**.)

Особенности ICC версии 4

(Обратите внимание, что ArgyllCMS не поддерживает ICC V4.)

По умолчанию профиль ICC 4 версии аналогичен профилю ICC V2 в отношении сопоставления цветового охвата, но для перцепционных (и, предположительно, насыщенность) таблиц вводятся минимально заданные эталонные среды и эталонные условия просмотра, что позволяет, по крайней мере диапазону яркости, иметь четко определенное поведение при смешивании и сопоставлении перцепционных таблиц A2B и B2A разных профилей.

Также была внесена небольшая корректировка в допустимое содержимое тегов, чтобы такие элементы, как профили отображения (дисплей), могли содержать полный диапазон таблиц A->B и B->A (поэтому их также можно сопоставлять с цветовым охватом).

Дополнительная часть ICC V4 вводит более полно, чем в другой версии, заданный эталонный цветовой охват профиля (PRMG, Profile Reference Medium Gamut) в качестве промежуточной границы цветового охвата между исходным цветовым пространством и целевым цветовым пространством.

Это решает проблему, связанную с необходимостью знания исходного и целевого цветовых пространств для кор-

ректной работы преобразования цветового охвата. Но сопоставление гамута разделяется на две части: первая, где сопоставление исходного цветового охвата в RMG выполняется с помощью таблиц AtoB, и вторая, где сопоставление RMG в целевой цветовой охват выполняется с помощью таблиц BtoA.

*** *PRMG (Perceptual Reference Medium Gamut)* — эталонный цветовой охват, разработанный Международным консорциумом по цвету для стандарта ICC. До появления стандарта ICC v4, профили разных производителей (камер, мониторов, принтеров) интерпретировали цвета по-разному. *PRMG* создал единый «переходный» эталон.

*** *RMG (Reference Medium Gamut)* — цветовой охват, используемый как промежуточное звено при создании *Device Link* профилей.

Таким образом, профили могут быть смешанными и совпадать, сохраняя при этом истинное сопоставление цветового охвата.

Однако у этого подхода есть ряд недостатков. Один из них заключается в том, что цвета дважды сопоставляются. Сопоставление цветового охвата иногда не очень точное, и геометрия преобразований может не компенсировать друг друга, особенно учитывая, что производители профилей могут выбирать разные алгоритмы сопоставления цветового охвата.

Под «компенсацией» подразумевается, что даже если вы

связываете одно и то же исходное цветовое пространство с одним и тем же целевым цветовым пространством, цветовой охват может быть расширен (например) в процессе преобразования в PRMG, а затем снова сжат при преобразовании из RMG в пространство устройства, и эти расширения и сжатия могут не совсем совпадать.

Учитывая, что цветовой охват PRMG относительно широк (больше, чем у многих реальных устройств), подобное расширение и повторное сжатие будут обычным явлением.

Главный недостаток заключается в том, что может поддерживаться только один (не колориметрический) параметр — насыщенность.

Типичное ожидаемое поведение сопоставления цветового охвата на основе перцепционного намерения заключается в сжатии любых областей исходного цветового охвата, лежащих за пределами целевого цветового охвата, но для областей, попадающих в целевой гамут. При этом изменяя их как можно меньше, сохраняя плавность и пропорциональность по отношению к сжатым цветам.

Это максимально сохраняет исходный «вид», обеспечивая плавное перемещение цветов (выходящих за пределы цветового охвата) в целевой цветовой охват.

Типичное поведение задачи насыщенность заключается (как минимум) не только в сжатии исходных цветов, выходящих за пределы цветового охвата (чтобы они соответствовали целевому охвату), но в расширении любой границы ис-

ходного цвета, попадающей в целевой гамут, за его пределы, чтобы соответствовать целевому гамуту.

Некоторые практические сопоставления цветового охвата насыщенность могут немного выходить за пределы целевого гамута, чтобы обеспечить полную насыщенность граничных цветов, а также повысить насыщенность всех цветов, отображаемых через него.

При сопоставлении исходного цветового охвата с RMG в A2B теряется вся информация о том, какие области исходного цветового охвата находятся внутри или вне целевого гамута. Поэтому сопоставление целевого цветового охвата не позволяет установить, какие цвета можно оставить неизменными, а какие нуждаются в сжатии. Все, что можно сделать — сопоставить RMG с целевым цветовым охватом, тем самым реализуя задачу режима насыщенность.

Если исходный цвет не был расширен для заполнения области RMG в какой-либо части с помощью A2B, то результат будет чрезмерно сжат и будет выглядеть тусклым, поскольку алгоритм работы с таблицей B2A вынужден исходить из предположения, что могут существовать цвета, которые заполняют область RMG.

Это фундаментальное ограничение применения предварительно вычисленных цветовых преобразований. Единственный эффективный способ преодоления таких ограничений — переход к активной архитектуре управления цветом, в которой цветовые преобразования вычисляются во

время соединения, чтобы учитывать фактические цветовые пространства источника и назначения.

Калибровка и профилирование

Некоторые термины могут вызывать путаницу. Многих людей смущает разница между калибровкой и характеристикой (профилированием).

Калибровка — это сокращенный термин в графическом дизайне, обозначающий настройку поведения устройства для достижения целевых показателей. Иными словами, это процесс изменения цветовых характеристик устройства. Обычно это делается двумя способами: через элементы управления дисплеем или внутренние настройки (меню OSD) и применением кривых к цветовым каналам.

**** OSD (On-Screen Display) — встроенное меню монитора, накладываемое поверх изображения для настройки яркости, контраста, цветопередачи, выбора входов и других параметров. Чаще всего активируется кнопкой «Мени» (или джойстиком) на корпусе.*

Смысл калибровки заключается в том, чтобы привести устройство в определенное состояние относительно его цветового отклика. Часто это применяется как способ обеспечения воспроизводимости результатов в повседневной работе. Калибровка является наиболее практичным способом установки таких параметров, как точка белого и яркость дисплея. Как правило, результаты измерений дисплея после ка-

либровки ArgyllCMS хранятся в файлах.

Для некоторых специфических приложений (например, программ воспроизведения видео) калибровка может использоваться для корректного отображения видеосигнала с определенным кодированием (т.е. цветовым пространством) на дисплее без необходимости применения программного или аппаратного обеспечения для управления цветом и преобразования между цветовыми пространствами.

Для каждого исходного цветового пространства необходимо выполнить специальную калибровку, при этом дисплей может корректно отображать только один источник одновременно. Если у вас N цветовых пространств источников и M дисплеев, то для отображения любого источника на любом дисплее потребуется создать $N \times M$ калибровок.

Характеризация (или профилирование) — это фиксация того, как устройство воспроизводит цвет или реагирует на него. Как правило, результат сохраняется в профиле устройства формата ICC. Сам по себе такой профиль никак не изменяет цвет. Но это позволяет системе, такой как CMM (Color Matching Module, модуль управления цветом) или приложению изменять цвет при работе с профилями устройств.

Зная характеристики двух устройств или цветовых пространств, можно осуществить перенос цвета из одного устройства в другое.

Имея исходный профиль (например, фотокамеры) и про-

филь назначения (например, дисплея), можно вычислить прямое преобразование между ними. В терминологии ICC это называется Device Link (связь устройств).

Преимущество такого способа управления цветом заключается в том, что преобразования могут создаваться на лету между любым исходным цветовым пространством и дисплеем, и все результаты отображаются в одном и том же выходном изображении.

Многие источники с разными цветовыми пространствами (или неизвестные на момент профилирования дисплея) могут быть отображены корректно.

При этом, если у вас есть N исходных цветовых пространств и M дисплеев, то для отображения любого источника на любом дисплее необходимо создать $N + M$ профилей.

Следует отметить, что характеристика (профиль) будет действительна для устройства только в том случае, если устройство находится в том же состоянии калибровки, в котором находилось на момент проведения характеристики/профилирования.

В случае с профилями дисплея возникает дополнительная путаница, поскольку информация о калибровке часто для удобства хранится в профиле. По общепринятой практике информация хранится в теге, называемом `vcgt`. Хотя информация содержится в профиле, ни один из обычных инструментов (программ или приложений), основанных на ICC, не знает о ней и ничего с ней не делает, она просто «присут-

ствует». Аналогично типичные инструменты и приложения для калибровки дисплея не будут знать о характеристиках ICC (профиле) и ничего с ними не будут делать.

*** *Тег VCGT (Video Card Gamma Table) в ICC-профиле монитора — это частный тег, содержащий, например, калибровочные кривые (таблицу гамма-коррекции), которые загружаются непосредственно в видеокарту (GPU) для исправления цветопередачи и яркости. Он обеспечивает приведение монитора к целевым значениям, исправляя цвета на уровне видеосигнала. При этом, как сказано выше, программное обеспечение и операционная система не участвуют в процессе, кроме загрузки тега на каком-то этапе работы.*

Искажения черного цвета

Иногда после создания профиля самые темные черные тона изображения сливаются с черным цветом дисплея (установленным, например, через меню OSD).

Почему это происходит?

Причин может быть несколько, но самая распространенная: в изображении есть черные цвета, которые темнее черного цвета дисплея, поэтому алгоритм управления цветом обрезает цвета, выходящие за пределы гамута.

Некоторые популярные синтетические цветовые пространства имеют идеальный (и нереалистичный) нулевой черный цвет, например, sRGB и Adobe RGB. В реальных профилях черные цвета не равны нулю, поэтому преобразование между ними с применением колориметрического алгоритма приведет к обрезанию черных тонов и потере деталей теней. Такие темные тона отображаются как максимально черный цвет.

*** *«Нулевой» черный цвет на мониторе (абсолютно черный) означает отсутствие свечения (или пропуска света) пикселей. Достижение этого уровня, если оно возможно, зависит от типа матрицы, настроек видеокарты и параметров самого монитора.*

Чтобы избежать этого, необходимо применить алгоритм

сопоставления цветового охвата, который будет переносить черный цвет исходного изображения с черным цветом дисплея, но сохранит различие между всеми остальными цветами.

**** Сопоставление цветового охвата (Gamut Mapping), сопоставление или маппинг цветового охвата — процесс перевода цветов из одного цветового пространства в другое, когда исходный диапазон шире целевого. Требуется, чтобы цвета, которые не может показать устройство или формат, не обрезались, но переносились в допустимые с сохранением правильного визуального восприятия.*

Как правило, для сопоставления цветового охвата доступны только два способа. Основной метод: предварительно настроенное (статическое) сопоставление цветового охвата, встроенное в профили ICC типа cLUT. Второй метод подразумевает сопоставление цветового охвата «на лету» (динамически), выполняемое модулями управления цветом (CMM). Например, так делает Adobe BPC (с помощью метода компенсации точки черного), но иногда такие методы применяются в программах-приложениях, или системами с поддержкой LCM (Little CMS).

**** Little CMS (LCMS) — это библиотека программного обеспечения с открытым исходным кодом, предназначенная для управления цветом. Она позволяет программам корректно работать с цветами, используя международные стандарты ICC (International Color Consortium) для преобра-*

зования *цветовых профилей*.

Установка программы Adobe BPC иногда невозможна, программа доступна не для всех операционных систем. Однако можно создать профиль дисплея с соответствующим сопоставлением цветового охвата и установить его.

Профили ICC типа шейпера/матрицы не поддерживают сопоставление цветового охвата, поскольку в них применяется только одно доступное преобразование (рендеринг); такие профили не обладают необходимой гибкостью для включения сопоставления цветового охвата, всегда имеют колориметрическую направленность. Поэтому, если требуется включить сопоставление цветового охвата, необходимо создать профиль дисплея на основе cLUT. (Обратите внимание, что не все программы или системы принимают профили cLUT).

С помощью ArgyllCMS нетрудно создать профиль cLUT, но программе colprof необходимо указать, какое цветовое пространство будет применяться в исходном файле.

Например, если исходные изображения находятся в пространстве sRGB, то команда следующая:

```
colprof -v -S sRGB.icm -D "My Display"  
MyDisplayProfile
```

Как видите, опция **-S** включит файл **sRGB.icm** в профиль. (Безопаснее применять профиль sRGB, предоставляемый ArgyllCMS, чем профиль sRGB неизвестного происхождения. Найдите профиль sRGB в каталоге ref.)

В данном случае создаются 3 отдельные таблицы cLUT B2A: одна для колориметрического режима, одна для перцепционного и одна для режима насыщенности.

Две таблицы (для перцепционного и насыщенности) будут иметь соответствующее сопоставление цветового охвата для исходного цветового пространства sRGB. Таким образом, остается только убедиться, что при включении профиля дисплея используется либо перцепционный рендеринг, либо насыщенность.

*** *Таблицы CLUT B2A (Color Look-Up Table, Business-to-Administration или в контексте ICC-профилей — «Device to PCS») — это компоненты цветовых профилей ICC для точного преобразования цветов из цветового пространства устройства (например, принтера или монитора) в независимое цветовое пространство связи (PCS, обычно Lab или XYZ).*

Оценка целевых входных данных

Существует множество мишеней цветового профилирования, созданных для характеристики входных данных, но иногда бывает сложно решить, какая из них лучше всего подойдет для конкретной задачи.

Полученный профиль будет точным только в пределах или вблизи цветовых значений, содержащихся на тестовой таблице. Это означает, что если цвета, которые вы фактически обрабатываете устройством, выходят за пределы гамута тестовой таблицы, цветовые значения будут экстраполированы профилем и, следовательно, окажутся не очень точными.

**** Гамут (Color Gamut) — это конкретный диапазон или часть всех существующих цветов, которую может отобразить устройство (монитор, проектор, принтер) или воспроизвести материал (краска, ткань). Здесь и далее гамут и цветовой охват идентичны.*

**** Покрывание гамута — это процент от заданного цветового пространства, который может воспроизвести устройство. Так, если на устройстве указано, что оно покрывает 100% sRGB, оно должно отображать полный диапазон цветов sRGB.*

Профиль будет точным только для цветов, близких к цветам, представленным на мишени. Чем ближе и равномернее

расположены значения тестовой диаграммы в пределах цветового охвата, тем точнее будет диаграмма в целом. Таким образом, как правило, чем больше тестовых значений (больше разнообразия цветов), тем качественнее результат.

Подобно гамуту, профиль будет точным только в диапазоне уровней яркости, используемых тестовой таблицей. В темной части идеальное значение черного на тестовой таблице будет работать как световой барьер. В белой части идеальное значение белого на тестовой таблице станет идеальным 100% отражающим рассеивателем.

На практике следует учитывать еще один момент: по умолчанию точка белого профиля устанавливается значением белого тестовой таблицы, и любые значения, превышающие это значение, могут быть обрезаны профилем. Поэтому в идеале белые участки должны представлять значение белого именно для тех условий работы, для которых вы будете использовать входное устройство.

Одна из основных проблем колориметрической характеристики устройств ввода заключается в том, что такие устройства не обладают спектральной чувствительностью человеческого глаза. Приборы «видят» цвет по-другому, чем человек, нет способа идеально компенсировать различия в профиле устройства. Некоторые спектральные значения будут выглядеть одинаково для устройства, но иначе для нас, и наоборот.

Колориметрический профиль лучше всего компенсирует

различия, когда целевые тестовые цвета (ввод) имеют спектральные характеристики отражения, характерные для предполагаемого вывода. Вы получите наилучшие результаты, если тестовая мишень использует процесс печати, аналогичный применяемому вами устройству (принтеру).

Так, если вы собираетесь сканировать фотографии, вам следует использовать тестовую мишень, основанную на фотографических данных. Если вы сканируете произведения искусства, то вам следует применить тестовую таблицу с пигментами, аналогичными краскам для произведений искусства и т.д.

При характеристике фотокамер дополнительным источником спектральных различий является источник освещения. Лучше всего выбрать источник света для мишени похожим на тот, при котором вы обычно делаете фотографии.

Настройка производительности

Некоторые операции в ArgyllCMS могут выполняться медленно, поэтому имеет смысл изучить способы повышения быстродействия или нахождения компромисса между потреблением памяти и производительностью.

Например, при создании связей между устройствами или таблицами B2A профилей время выполнения часто определяется инверсией значений прямого поиска цвета. Для ускорения подобных операций предоставляется кэш в оперативной памяти, где хранятся вычисленные значения на случай, если их можно применить более одного раза. Объем памяти кэширования задается в коде и составляет половину доступной оперативной памяти системы с минимальным значением 50 Мбайт.

Размер выделенной памяти можно изменить, установив переменную среды ARGYLL_REV_CACHE_MULT на число больше или меньше 1,0. Это умножит размер кэша на указанное число. Например, 1,5 увеличит размер кэша на 50%, 0,5 уменьшит его вдвое.

Если вы заметили, что программы colprof или colink работают медленно, при этом процессоры компьютера простаивают, это будет признаком активной работы файла подкачки на жестком диске и запроса слишком большого объема

памяти.

Такое поведение может быть связано с тем, что другие приложения также занимают место в памяти, или же программы ArgyllCMS пытаются запросить больше памяти, чем фактически доступно.

В таких случаях можно попробовать закрыть другие приложения или уменьшить объем памяти, предоставленной для программ ArgyllCMS, установив ARGYLL_REV_CACHE_MULT на значение меньше 1,0 (например, 0,5).

Если у вас много доступной памяти, можно попробовать увеличить размер кэша, чтобы предоставить программе больше доступной оперативной памяти (особенно если во время обработки появляется предупреждающее сообщение).

При этом, если вы установите значение близкое к 2,0, вы рискуете вызвать активную подкачку на твердотельный накопитель компьютера, что может значительно замедлить работу.

Известна настройка, способная существенно повлиять на время создания таблиц B2A — разрешение сетки обратного поиска. Чем мельче сетка, тем меньше требуется ресурсов на поиск для определения значений входного цветового пространства, соответствующих целевому значению выходного цвета, но тем больше требуется памяти и тем больше времени уходит на инициализацию сетки.

Переменная

среды

ARGYLL_REV_ACC_GRID_RES_MULT позволяет изменять разрешение по умолчанию с помощью масштабного коэффициента. Например, значение 0,5 уменьшит разрешение вдвое (обычно 1/8 от общего количества элементов сетки), а значение 2,0 удвоит его, что приводит к восьмикратному увеличению требуемой памяти. Слишком большое увеличение разрешения уменьшит доступную память для обратного кэша и значительно увеличит время настройки.

Форматы файлов ArgyllCMS

Argyll использует для своей работы несколько форматов файлов, некоторые определены внешними стандартами, а некоторые уникальны для ArgyllCMS.

Это следующие форматы и расширения: .ti1, .ti2, .ti3, .cal, .cht, .gam, .sp, .cmf, CGATS, ICC, MPP, TIFF, VRML, X3D, X3DOM.

Файлы .ti1, .ti2, .ti3, .cal, .cht, .gam, .sp, .cmf, .ccmx, .ccss — это специфичные для ArgyllCMS текстовые файлы ASCII CGATS.

**** CGATS ASCII — формат обмена данными, основанный на текстовом стандарте ASCII, который широко используется в полиграфии, колориметрии и цифровой печати для передачи результатов измерений цвета (например, данных спектрофотометра).*

Файлы .ti1, .ti2, .ti3 — файлы для хранения значений устройства, необходимых для создания тестовой диаграммы профилирования.

Файлы создаются с помощью программ `targen`, `chartread`, `dispread`, `filmread`, `scanin`, `fakeread`, `cb2ti3`, `kodak2ti3`, `txt2ti3`, `dispcal`, `printcal`, `synthcal`.

Формат .cal содержит данные о калибровке устройства, такой файл создается программами `dispcal`, `printcal`, `synthcal`.

Файл с расширением `.cht` — это файл распознавания тестовой таблицы, в нем сохраняются описания тестовой таблицы, чтобы растровое изображение таблицы (мишени) могло быть преобразовано в значения параметров тестирования устройства с помощью программы `scanin`.

Формат `.gam` — это описание цветового охвата, в нем хранится трехмерное описание гамута. Создается с помощью программ `iccgamut`, `tiffgamut` или `mrplu`. Просматривается с помощью `viewgam`, например, для визуального преобразования одного или нескольких гамутов в файл `VRML`, или в качестве входных данных `colink` (для описания гамута исходного цветового пространства).

Файл формата `.sp` хранит описание спектрального источника света. Обычно он используется для записи пользовательского источника света, например, для расчета компенсации флуоресцентного отбеливающего агента для отражающих образцов, а также для расчета значений трехкомпонентной индикации CIE на основе спектральных образцов.

Файл `.cmf` применяется для хранения трех кривых спектрального отклика, определяющих трехстимульный наблюдателя. Формат совпадает с форматом `.sp`.

Формат `.cstm` это матрица коррекции колориметра. Матрица создается для конкретных дисплея и колориметра, используется для преобразования значений XYZ прибора, чтобы они лучше соответствовали измерениям эталонного спектрометра для данного дисплея. Файл содержит описание

дисплея, колориметра и эталонного спектрометра.

Формат .csss это набор спектральных данных для калибровки колориметра. Для колориметров с известной спектральной чувствительностью сенсора (таких как i1d3, Spyder4 и Spyder5) этот файл позволяет создать калибровку, настроенную для конкретного дисплея. Файл содержит описание дисплея, тип технологии дисплея и тип спектрометра, используемого для снятия показаний. Дополнительную информацию см. в файлах oeminst и ssxxmake. Формат аналогичен формату .sp.

**** Колориметр i1d3 (или X-Rite i1Display Pro / Calibrite Display Pro) — высокоточный колориметр-зонд, предназначенный для калибровки и профилирования мониторов, дисплеев ноутбуков, мобильных устройств и проекторов.*

Формат CGATS это формат обмена данными CGATS.5 из Приложения J стандарта ANSI CGATS.5-1993, подходящий для представления данных о цвете и широко используемый для хранения значений цветовых тестов. Программа ArgyllCMS применяет его в качестве базового удобочитаемого формата для различных целей.

Файлы ICC соответствуют формату файлов цветовых профилей Международного консорциума по цвету (ICC). Формат ICC призван обеспечить кросс-платформенный формат профилей устройств, который можно использовать для преобразования цветовых данных, созданных на одном устройстве, в собственное цветовое пространство другого устрой-

ства. Помимо профилей устройств, формат ICC также может хранить профили связи устройств, абстрактные профили и именованные цветовые профили. Этот файл обычно создается с помощью инструментов colprof или colink. Профиль связи устройств также является способом указания пользовательской цветовой модуляции чернил, например, из СМΥК в 6 или более цветовых сред.

Формат TIFF (Tag Image File Format) — широко применяемый в полиграфической отрасли формат для хранения графических данных. Он поддерживает различные формы сжатия и различные цветовые пространства, включая RGB, СМΥК и многоканальные.

Формат JPEG (Joint Photographic Experts Group) широко используется в полиграфической и фотографической отраслях для хранения изображений. Он поддерживает различные формы сжатия и различные цветовые пространства, включая RGB и СМΥК.

Формат VRML это файл языка моделирования виртуальной реальности (VRML). Переносимый способ кодирования трехмерных объектов (таких как поверхности с цветовым охватом). Как правило, такие файлы можно просматривать с помощью подходящей автономной программы для просмотра VRML или плагина для веб-браузера. VRML97 — это международный стандарт ISO/IEC 14772-1:1997.

*** VRML (*Virtual Reality Modeling Language*) — старый текстовый формат файлов (обычно с расширением .wrl)

для создания 3D-сцен и интерактивных объектов, разработанный в 1990-х для веб-браузеров. Просматривать их можно, например, через специализированные просмотрщики (*FreeWRL*, *Cosmo Player*), современные 3D-редакторы (*Blender*) или онлайн-конвертеры.

X3D X3D — свободный стандартный XML-формат файлов ISO для представления трехмерной компьютерной графики. Он является преемником языка моделирования виртуальной реальности (VRML).

X3DOM — фреймворк и среда выполнения с открытым исходным кодом для 3D-графики в Интернете. Может свободно использоваться как в некоммерческих, так и в коммерческих целях и распространяется под двойными лицензиями: MIT и GPL. Среда выполнения JavaScript отображает встроенные файлы X3D в браузерах, поддерживающих WebGL.

Установка переменных среды

**** Переменные среды (environment variables) — это именованные текстовые объекты, хранящие информацию, используемую операционной системой и программами: пути к файлам, настройки пользователя, язык системы и т.д. Они наследуются процессами и позволяют гибко управлять поведением программ.*

Чтобы установить переменную среды в командной оболочке MS Windows DOS, используйте команду **set**, например, **set ARGYLL_REV_CACHE_MULT=1.5**

Команда установит значение для данной сессии, но вы можете определить их как системные переменные.

Вы можете просмотреть отдельные переменные в командной оболочке, применяя команду **echo %VARIABLE_NAME%** или **set ARGYLL_REV_CACHE_MULT**.

Все переменные можно посмотреть с помощью команды **set**.

Для Mac OS X или Linux точная команда будет зависеть от оболочки командной строки, но обычно это делается так: **export ARGYLL_REV_CACHE_MULT=1.5 set ARGYLL_REV_CACHE_MULT=1.5 ARGYLL_REV_CACHE_MULT=1.5**

Иногда может потребоваться отдельный экспорт, например: **export ARGYLL_REV_CACHE_MULT**

Если вы хотите, чтобы конфигурация применялась для каждой сессии, ее следует указать в скрипте запуска оболочки. Точный файл будет зависеть от командной оболочки, чаще всего это `~/.bash_profile`, `~/.zshrc`, `~/.profile` или что-то аналогичное.

**** Командная оболочка (shell) в Linux — это интерпретатор, он принимает команды пользователя и передает их операционной системе. Основной оболочкой в большинстве дистрибутивов является Bash. Bash (Bourne Again Shell) — сегодня почти стандарт де-факто. Bash совместим с языком sh, обеспечивает работу в терминале, выполнение скриптов и управление процессами.*

В Mac OS X, если вам необходимо, чтобы переменная окружения была видна всем приложениям (например, DisplayCAL), придется изменить файл `~/.MacOSX/environment.plist` или файл `/etc/launchd.conf` (в поздних системах).

В OS X 10.11 (El Capitan) и более поздних версиях необходимо создать скрипт командной строки, который устанавливает переменные окружения.

Вы можете просмотреть отдельные переменные с помощью команды **echo \$VARIABLE_NAME**, или увидеть все переменные **set ARGYLL_REV_CACHE_MULT**.

Вы также можете удалить переменную окружения с помо-

щью команды **unset**.

Если переменная окружения применяется как флаг, включение ее любого значения (например, "true") приведет к той или иной установке флага. Удалите переменную, чтобы снять флаг.

Переменная `ARGYLL_NOT_INTERACTIVE`

Обычно работа программ ArgyllCMS предполагает прямое взаимодействие с пользователем, поэтому существует несколько методов работы через консоль (командную строку). Один из методов — вывод информации о ходе выполнения функций программы. Другой метод — разрешение на запуск действия или прерывание операций одним нажатием клавиши.

Если программа запускается в исполняемом скрипте, это потребует определенной настройки.

Если переменная среды `ARGYLL_NOT_INTERACTIVE` установлена (имеет значение "1", "true"), то в конец каждой строки хода выполнения будет добавлен символ перевода строки вместо символа возврата каретки.

Символ перевода строки не добавляется к строкам подсказок. Строки подсказок выводятся в стандартный поток вывода.

Всякий раз, когда программа ожидает консольный ввод, она будет ожидать и считывать следующий символ и символ возврата каретки из стандартного потока ввода. При этом все последующие символы будут проигнорированы.

Во время измерения ввод символа может прервать про-

цесс, как в обычном интерактивном режиме.

Переменная ARGYLL_3D_DISP_FORMAT

Переменная ARGYLL_3D_DISP_FORMAT определяет формат файла 3D-визуализации для таких инструментов, как `icsgamut` или `viewgam`. Установите значение VRML, X3D или X3DOM, чтобы были созданы файлы с расширениями `.wrl`, `.x3d` и `.x3d.html`.

Переменная **ARGYLL_COLMTER_CAL_SPEC_SET**

Переменные ARGYLL_COLMTER_CAL_SPEC_SET и ARGYLL_COLMTER_COR_MATRIX можно применять для установки файла калибровки колориметра в формате CCMX (или CCSS), что эквивалентно передаче аргумента **-X** утилитам spotread, dispcal, dispread и любой другой утилите, работающей с колориметром. Если установлены два параметра, приоритет будет иметь ARGYLL_COLMTER_CAL_SPEC_SET.

Переменная `ARGYLL_MIN_DISPLAY_UPDATE_DELAY`

`ARGYLL_MIN_DISPLAY_UPDATE_DELAY_MS` определяет задержку. Обычно допускается задержка в 200 мс между изменением цвета пэтча в программном обеспечении и отображением этого изменения на мониторе. Для некоторых приборов (например, `ild3`, `ilpro`, `ColorMunki`, `Klein K10-A`) `ArgyllCMS` автоматически измеряет и устанавливает соответствующую задержку обновления во время калибровки. В редких случаях указанной по умолчанию задержки может быть недостаточно. Допускается установить большую задержку с помощью соответствующего параметра. Так, переменная среды `ARGYLL_MIN_DISPLAY_UPDATE_DELAY_MS=400` установит минимальную задержку 400 мс.

Переменная ARGYLL_DISPLAY_SETTLE_TIME_MULT

Параметр ARGYLL_DISPLAY_SETTLE_TIME_MULT — время изменения цвета окна. Обычно тип технологии отображения определяет допустимое время между появлением изменения цвета окна на дисплее и моментом, когда это изменение стабилизируется и фактически завершается в пределах допустимых отклонений. Например, ЭЛТ или плазменный дисплей могут иметь довольно большую задержку стабилизации из-за характеристик затухания используемого люминофора, в то время как ЖК-дисплей может иметь заметную задержку стабилизации из-за времени отклика жидких кристаллов и любых схем повышения времени отклика.

Переменная ARGYLL_DISPLAY_SETTLE_TIME_MULT среды позволяет масштабировать время нарастания и спада для увеличения или уменьшения времени стабилизации. Например, ARGYLL_DISPLAY_SETTLE_TIME_MULT=2.0 удвоит время стабилизации, а ARGYLL_DISPLAY_SETTLE_TIME_MULT=0.5 уменьшит его вдвое.

Переменная `ARGYLL_DISPLAY_FAKE RAND_SEED`

Программы, измеряющие изображение на экране, имеют возможность использовать фиктивное устройство отображения для целей тестирования. Обычно к фиктивным измерениям добавляется случайная составляющая, но если эта переменная среды установлена на какое-то число, она будет использоваться в качестве начального значения генератора случайных чисел, что позволит обеспечить воспроизводимые результаты.

Переменная ATE_WRONG_VON_KRIES_OUTPUT_C

По умолчанию ArgylCMS использует матрицу хроматической адаптации с заостренным конусом Брэдфорда для адаптации измеренных абсолютных колориметрических тестовых данных к относительной колориметрической точке белого D50 в пространстве соединений профилей (PCS) для всех типов профилей. Это обеспечивает согласованность обработки профилей с широко используемыми (компаниями HP и Microsoft) профилями sRGB и Adobe RGB, а также является рекомендуемой практикой при моделировании хроматической адаптации. Однако формат профиля ICC предусматривает применение адаптации XYZ вне конусного пространства (так называемая «неправильная хроматическая адаптация фон Криза»)

Поэтому профили ArgylCMS имеют очень небольшую несовместимость с профилями ICC, созданными строго в соответствии со спецификациями ICC, в зависимости от того, насколько близко к белому цвету выходных (т.е. печатных) профилей белый цвет носителя находится к идеальному рассеивателю. Установка этой переменной среды позволит создавать профили вывода (т.е. печати), которые лучше соответствуют спецификации ICC и, следовательно, облада-

ют лучшей совместимостью с некоторыми другими СММ, но за счет ухудшения цветопередачи.

Переменная L_CREATE_DISPLAY_PROFILE_WITH

В первоначальном формате ICC V2 отсутствовал четкий механизм для использования профилями дисплея современного преобразования хроматической адаптации при работе с точкой белого D65 типичных дисплеев. Разработчики профилей в итоге использовали два разных подхода: первый — преобразования хроматической адаптации Брэдфорда для белого носителя (дисплея) до PCS D50 (этот подход используется широко распространенными профилями HP и Microsoft sRGB и Adobe RGB, а также профилями ArgyllCMS по умолчанию), а второй — применение преобразования Брэдфорда к данным измерений и последующее отключение абсолютного намерения для профилей дисплея путем установки тега `mediaWhitePoint` на D50. Последний подход был дополнен позже введением тега `ChromaticAdapation` (`chad`), но это не восстановило возможность абсолютного колориметрического намерения для профилей дисплея. Последний подход также был более формально принят в спецификациях ICC V4. Для восстановления абсолютного намерения для таких профилей ArgyllCMS будет использовать тег `chad` в профилях при запросе абсолютного колориметрического намерения, но по умолча-

нию такие профили не создаются. Установка этой переменной среды определяет ArgyllCMS ICC V2 и по умолчанию приводит к созданию профилей рендеринга (сопоставления) в соответствии со спецификацией ICC V4: установке тега `mediaWhitePoint` в значение D50 и сохранение матрицы белого цвета дисплея в D50 в теге `chad`. (Этот подход имеет несколько меньшую точность для абсолютного намерения, чем подход по умолчанию в ArgyllCMS.)

Переменная **CREATE_DISPLAY_PROFILE_WITHO**

Установка этой переменной среды отменяет настройки по умолчанию для ArgyllCMS ICC V4 и приводит к созданию профилей рендеринга (сопоставления) способом, используемым по умолчанию при создании профиля отображения ICC V2 (см. выше).

Переменная L_CREATE_OUTPUT_PROFILE_WITH

Для устройств вывода (например, принтеров) предполагается, что тестовые образцы измеряются при освещенности D50. Для проверки цветопередачи может быть очень полезно рассчитывать цветокоррекцию для других, реальных источников освещения, и ArgyllCMS предусматривает это с помощью команды **colprof** - **i** или **spec2cie -i**. Это изменение источника освещения должно быть доступно для CMM, что обеспечивает реализация ArgyllCMS, которая включает изменение источника освещения в абсолютные значения XYZ и, следовательно, но, в тег точки белого, так что намерение абсолютного колориметрического рендеринга возвращает значения XYZ при этом освещении с использованием любой CMM. Спецификация ICC предусматривает возможность скрывания этой разницы в освещении путем хроматическо-

го преобразования абсолютных значений, чтобы они были функционально эквивалентны измерениям при освещенности D50, и записи этого преобразования в тег ChromaticAdapation (chad). Это, по-видимому, мотивировано предположением, что разница в освещении является особенностью или ограничением прибора, которые необходимо обойти, а также ограничением преобразования абсолютной хроматической величины в относительную, основанным на нижней адаптации XYZ-пространства вне конусов (так называемая «неправильная хроматическая адаптация фон Криса»), в то время как метка ChromaticAdapation позволяет использовать верхнюю адаптацию, основанную на пространстве конусов. (Подробнее см. ARGYLL_CREATE_WRONG_VON_KRIES_OUTPUT_CLA выше.)

Для обеспечения строгого соответствия спецификации ICC при использовании нестандартных источников освещения, установка переменной среды ARGYLL_CREATE_OUTPUT_PROFILE_WITH_CHAD приводит к скрытию изменения точки белого для источника освещения, отличного от D50, в теге ChromaticAdapation.

Чтобы это оставалось полезным при проверке цветопередачи, ArgyllCMS будет учитывать эффект тега ChromaticAdapation при выборе абсолютного колориметрического намерения. Обратите внимание, что некоторые CMM могут этого не делать. Для полного соответствия спецификациям ICC также следует установить переменную ARGYLL_CREATE_WRONG_VON_KRIES_OUTPUT_CLA но ни один из этих вариантов не рекомендуется, поскольку поведение ArgyllCMS по умолчанию обеспечит лучшие результаты.

*** *Модель хроматической адаптации фон Криса (von Kries) хорошо работает с малонасыщенными цветами, близкими к источнику опорного белого света. Основное ограничение заключается в том, что она не учитывает нелинейные эффекты адаптации, это может приводить к ошибкам при работе с высоконасыщенными цветами или экстремальными источниками освещения (в отличие от более современных моделей типа CAT02).*

Переменная ARGYLL_CREATE_V2COLORANT_TABLE

ArgyllCMS поддерживает только профили ICC V2, но в более старых версиях к создаваемым профилям добавлялся тег ColorantTable. Для обеспечения совместимости со старыми версиями установите переменную ARGYLL_CREATE_V2COLORANT_TABLE. Обратите внимание, что созданный тег ColorantTable будет нестандартным, поскольку имеет кодировку ICC V2 PCS.

Переменная **ARGYLL_PLATFORM_OVERRIDE**

По умолчанию профили ICC создаются с заголовком платформы "APPL", "MSFT" или "*nix". Последняя сигнатура является расширением ArgyllCMS, используемым при создании профилей в Linux или других UNIX-подобных платформах. Для обеспечения строгой совместимости переменную среды ARGYLL_PLATFORM_OVERRIDE можно установить на желаемую строку сигнатуры, например, "APPL".

Переменная ARGYLL_CCASST_DEFAULT_RECEIVER

По умолчанию источник тестовых патчей ChromeCast использует специальное приложение-приемник, которое получает данные тестового патча напрямую. Если установить эту переменную среды в значение "true", будет использоваться стандартный приемник Google ChromeCast, который применит локальный веб-сервер для предоставления изображений. Это медленнее, чем специальный приемник, но может применяться в качестве резервного варианта.

*** *Chromecast — компактное устройство и технология от Google, позволяющая передавать видео, музыку, фотографии со смартфона или планшета на экран телевизора через Wi-Fi. Технология, как уверяет компания Google, превращает обычный телевизор в «умный» (Smart TV).*

Переменная ARGYLL_IGNORE_XRANDR1_2

В системе X11, если установлено значение "true", то наличие расширения XRandR 1.2 будет игнорироваться, будут применяться другие расширения, такие как Xinerama и XF86VidMode. Это может быть способом обойти ошибки в реализации XRandR 1.2.

Переменная ARGYLL_IGNORE_XINERAMA

В системе X11, если установлено значение "true", наличие расширения XInerama будет игнорироваться, и для доступа к нескольким дисплеям будет использоваться стандартная нумерация экранов X11.

Переменная ARGYLL_USE_COLOR

По умолчанию ArgyllCMS версии 1.9.4 и выше использует собственный `usm` для хранения профилей ICC дисплея в системах на базе Linux, но если установлена переменная среды ARGYLL_USE_COLOR, то будет использоваться хранилище (путь к файлам) Gnome.

*** *GNOME Color Manager* — набор графических утилит для среды рабочего стола GNOME, предназначенный для управления цветовыми профилями (ICC) мониторов, принтеров, камер и сканеров.

Переменная

ARGYLL_DISABLE_I1PRO2_DRIVER

ArgyllCMS поддерживает большинство функций прибора Eye-One Pro Rev. E (также известного как Eye-One Pro 2), но Rev. E допускается применять в устаревшем режиме, если установлена переменная среды ARGYLL_DISABLE_I1PRO2_DRIVER

*** *Eye-One Pro (i1Pro) — это профессиональный спектрофотометр от компании X-Rite (ранее GretagMacbeth).*

Переменная **ARGYLL_EXCLUDE_SERIAL_SCAN**

Обычно ArgyllCMS пытается идентифицировать любое устройство на быстром последовательном порту (например, USB или Bluetooth). Это может помешать работе устройств, о которых программа не знает, поэтому переменную **ARGYLL_EXCLUDE_SERIAL_SCAN** можно установить в виде списка последовательных портов (разделенных точкой с запятой или запятой), которые не следует сканировать с помощью быстрой синхронизации. Пример: **COM2;/dev/tty5** и т.д.

Переменная ARGYLL_XRGA

Если переменная среды ARGYLL_XRGA установлена как XRGA, то все измерения отражения Getag-MacBeth/X-Rite будут преобразованы в XRGA. Если указано XRDI, то все измерения отражения Getag-MacBeth/X-Rite будут преобразованы в XRDI. Аналогично GMDI. Если ничего не установлено, то будет использоваться собственная калибровка. Обратите внимание, что значения должны быть написаны заглавными буквами.

Переменная `ARGYLL_UNTWIST_GAMUT_SURFACE`

При инвертировании значения профиля цветового устройства (например, при создании таблиц ICC B2A или создании связи между устройствами с применением определенного режима сопоставления цветового охвата, рендеринга), цвета, выходящие за пределы цветового охвата после сопоставления, будут обрезаны по поверхности гамута. Если поведение устройства некорректно (т.е. немонотонно), представление поверхности цветового охвата обрезки может иметь «теневые» области, которые приводят к «скачкам» в обрезанном изображении. Установка переменной среды `ARGYLL_UNTWIST_GAMUT_SURFACE` в ненулевое значение вызовет дополнительный шаг в процедуре создания поверхности гамута, при этом будет сделана попытка минимизировать такие теневые области. Это может улучшить плавность обрезанных цветов для устройств с некорректным поведением, но может ухудшить качество изображения для некоторых устройств.

Переменная XDG_CACHE_HOME

Программы ArgyllCMS в процессе работы стараются следовать спецификации базового каталога XDG и используют переменную среды XDG_CACHE_HOME для размещения информации о калибровке каждого прибора, а также файлов .csmx и .ccss.

Переменная XDG_CONFIG_DIRS XDG_DATA_DIRS

В операционных системах семейства Unix конфигурация и профили для дисплеев размещаются относительно этих переменных среды.

Переменная I1D3_ESCAPE

У некоторых колориметров X-Rite (например, i1d3) есть коды разблокировки, которые в настоящее время неизвестны. Если эти коды станут известны, прибор можно будет заставить работать с ArgyllCMS, установив значение I1D3_ESCAPE в соответствующее 16-символьное шестнадцатеричное значение. Например, если разблокировка i1d3 для розничной версии еще не была встроена в код драйвера ArgyllCMS, ее можно было бы включить с помощью следующей настройки: I1D3_ESCAPE=e9622e9f8d63e133

Еще один способ установить дополнительные коды разблокировки — создать файл i1d3_escape, содержащий один 16-символьный шестнадцатеричный код на каждой строке. Файл должен находиться в системном каталоге DATA. Для Unix это \$HOME/.local/share/ArgyllCMS/i1d3_escape, а для OS X \$HOME/Library/Application Support/ArgyllCMS/i1d3_escape, для MSWin \$HOME/.local/share/ArgyllCMS/i1d3_escape.

Переменная I1D3_DISABLE_AIO

Колориметры X-Rite i1d3 Rev. B имеют новую команду измерения AIO, с некоторыми преимуществами по сравнению с командами, поддерживаемыми оборудованием Rev. A. Драйвер ArgyllCMS будет использовать эту команду, когда она станет доступна. Более старые команды можно использовать на устройстве Rev. B, установив параметр I1D3_DISABLE_AIO.

Переменная SPYD2024_LOWLEV_MEASURE

Колориметры Datacolor Spyder и SpyderPro 2024 по умолчанию используют новую команду измерения высокого уровня, которая выполняет измерение, а затем вычисляет значения XYZ в приборе. Установив переменную среды SPYD2024_LOWLEV_MEASURE, вместо нее будут использоваться команды измерения более низкого уровня Spyder X2, а преобразование в XYZ будет выполняться драйвером ArgyllCMS. Это необходимо установить перед запуском приложения.

Другие параметры см. в разделе «Настройка производительности».

Ограничения ArgyllCMS

К числу пока не реализованных функций относятся следующие.

- ~ Поддержка профилей ICC версии 4.
- ~ Поддержка монохромного профилирования.
- ~ Поддержка более чем 4-цветных принтеров.
- ~ Графический интерфейс пользователя.
- ~ Поддержка всех доступных инструментов.

Некоторые из этих функций находятся на стадии разработки, некоторые выходят за рамки некоммерческого проекта. Диапазон поддерживаемых инструментов в основном ограничен доступностью информации об их интерфейсах. В файле `ttbd.txt`, входящем в дистрибутив исходного кода, содержится более длинный и подробный список идей по улучшению функционала.

Аддитивный и субтрактивный цвета

Диапазон цветов может быть воспроизведен одним из двух взаимодополняющих способов.

1. Аддитивный цвет получается смешиванием источников света, начиная с темноты (черного). Аддитивные основные цвета это красный (R), зеленый (G) и синий (B). Сложение R и G дает желтый (Y). Аналогично, $G + B =$ голубой (C) и $R + B =$ пурпурный (M). Смешивание всех трех аддитивных основных цветов дает белый. Комбинируя RGB цвета, можно получить широкий спектр цветов, но не все цвета, которые способен видеть глаз человека. Цветовая гамма воспроизводящего устройства зависит от спектра основных цветов, и он может быть далек от идеального. Также реакция глаза не точно соответствует цветам R, G и B в общепринятом понимании (приведенное выше описание упрощено).

2. Субтрактивный цвет получается в результате освещения объектов, содержащих красители или пигменты, которые удаляют часть видимого спектра. Объекты могут либо пропускать свет (прозрачные материалы), либо отражать свет (например, бумага). Субтрактивными основными цветами являются C, M и Y. Голубой цвет поглощает красный; поэтому C иногда называют «минус красный» («-R»). Аналогично, M это «-G», а Y это «-B».

Идеальных красителей С, Y и M не существует: субтрактивные основные цвета не полностью исключают их дополнительные цвета (R, B и G). Поэтому, например, для получения глубоких черных тонов в смесь необходимо добавить черные краски (K). Также цветовая модель CMYK сильно зависит от устройства и существует множество алгоритмов для преобразования RGB в CMYK.

Структура ICC-профиля

ICC-профиль — это набор данных, обычно сохраненный в файле с расширением .icc или .icm. Профиль служит связующим звеном между цветовым пространством конкретного устройства (монитора, принтера, фотокамеры или сканера и т.д.) и независимым эталоном. С помощью профиля цвета конвертируются так, чтобы они оставались точными при переносе между программами или из одного устройства в другое и т.д. Структура профиля стандартизирована, что позволяет программам и системам управления цветом (СММ) правильно переводить цвета с одного носителя на другой.

Фотограф и программист Норман Корен так объясняет процессы работы с ICC-профилями. При сохранении изображения с соответствующим цветовым пространством, ICC-профиль этого цветового пространства внедряется в файл изображения — сохраняется вместе с ним. Это не сильно увеличивает размер сохраняемого изображения, поскольку профили цветовых пространств очень малы. Затем программы, умеющие работать с профилями, читают такие данные и применяют их для коррекции.

Поэтому Норман Корен рекомендует в рабочем процессе с управлением цветом всегда внедрять ICC-профили в изображения. В противном случае может возникнуть путаница.

Например, программа Photoshop обрабатывает изображения без встроенных профилей иначе, чем с встроенными.

Профили устройств делятся на три типа.

1. Профили устройства ввода (Input profiles). Это профили для сканеров и цифровых камер. Такие профили описывают особенности конкретной матрицы или сенсора. Позволяют преобразовать данные, полученные при съемке или сканировании, в стандартное цветовое пространство (например, sRGB).

2. Профили устройств отображения (Display profiles) охватывают мониторы и проекторы. Подобные профили чаще всего создаются при помощи колориметров, спектрофотометров. Учитывается яркость, контрастность, точка белого и задается, как именно конкретный монитор должен воспроизводить цвета исходного файла.

3. Профили устройств вывода (Output profiles) включают принтеры, плоттеры и печатные машины. Специфичны для связки «принтер + чернила + бумага». Содержат информацию о том, как красители смешиваются на конкретном носителе, корректируя цвет для точной печати.

Специфические и промежуточные профили это Device Link, абстрактные (Abstract), а также преобразующие цветовое пространство (Color Space Conversion). Device Link (связь устройств) преобразует цвета одного устройства в другое, минуя стандартное пространство. Чаще всего применяется в полиграфии. Абстрактные (Abstract) применяются

для цветокоррекции. Преобразование цветового пространства (Color Space Conversion) используется для перевода из одного абстрактного пространства в другое (например, из Adobe RGB в sRGB).

Стандартная структура профиля ICC состоит из трех основных частей: заголовка, таблицы тегов и блока данных.

Заголовок (Header) содержит техническую метаинформацию размером 128 байтов, доступна следующая основная информация: точный размер файла, версия профиля, тип профиля (для монитора, принтера и т.д.), исходная цветовая модель (RGB, CMYK) и целевое независимое пространство (PCS, Profile Connection Space), дата создания и т.д.

Таблица тегов (Tag Table) следует сразу за заголовком и перечисляет все теги, содержащиеся в файле, указывает их тип, размер и точное смещение (расположение) в байтах.

Теги (Tags) служат для хранения данных о характеристиках устройства и матрицах преобразования. Включают описания, авторские права, базовые параметры точки белого, градационные характеристики и таблицы пересчета и т.д.

Блок данных (Tagged Elements / Data Block) содержит таблицы (LUT, Look-Up Tables), кривые передачи тонов (TRC), матрицы преобразования цвета, точку белого и другую важную для конвертации информацию.

Матрицы применяются для линейных устройств (например, очень качественных мониторов), они описывают цветовой охват с помощью математических формул.

Таблицы преобразования (LUT, Look-Up Tables) содержат массивы данных для сложных нелинейных устройств (например, принтеров, плоттеров).

Таблицы бывают двух видов, а именно A2B и B2A.

Таблицы A->B это теги, описывающие преобразование цвета из цветового пространства устройства в независимое цветовое пространство (PCS, Profile Connection Space) для различных алгоритмов рендеринга, сжатия (на англ. rendering intent, например, перцепционный, относительный колориметрический, насыщенность).

Таблицы B->A это обратные теги для перевода цвета из PCS в пространство конечного устройства (например, для вывода на печать).

Таблицы соответствия (Gamut Maps) это базы данных, используемые для операций сжатия цвета (Rendering Intents). Определяют, как именно программа должна исказить цвета (смещать оттенки, уводить в насыщенность), если цвет из исходного файла выходит за пределы цветового охвата конечного устройства.

Рендеринг, цель цветопередачи (Rendering Intent) профиля — алгоритм пересчета цветов при конвертации из одного цветового пространства в другое (например, из RGB в CMYK при печати с помощью профилей ICC). Так как охваты устройств различаются, метод определяет, как поступать с цветами, которые не помещаются в охват.

Гамут (англ. gamut, полный диапазон или гамма) — это

весь спектр, набор, диапазон цветов, которые охватывает устройство. Таким образом, цветовой охват (или гамут) — это диапазон цветов, который устройство (монитор, камера, принтер, сканер) способно воспроизвести или записать. Гамут определяет максимальную цветовую палитру. Чем шире гамут, тем больше ярких и насыщенных оттенков доступно. Здесь и далее для упрощения гамут и цветовой охват являются синонимами.

Чаще всего встречаются следующие стандарты.

~ sRGB — базовый и самый старый стандарт.

~ DCI-P3 — стандарт, применяемый в киноиндустрии или современных мониторах, охватывает примерно на 25-30% больше цветов, чем sRGB.

~ Adobe RGB — профессиональный стандарт для полиграфии и фотографов, включающий больше зеленых и синих оттенков.

~ Rec. 2020 — сверхширокий цветовой охват современного телевидения и HDR-контента.

В стандартах ICC определены четыре основных метода рендеринга цвета.

~ 1. Перцепционный (Perceptual).

~ 2. Относительный колориметрический (Relative Colorimetric).

~ 3. Абсолютный колориметрический (Absolute Colorimetric).

~ 4. Насыщенность (Saturation / Presentation).

Точка белого (White Point) задает базовый оттенок нейтрального белого цвета (обычно D50 или D65).

Шейперы, кривые (Tone Reproduction Curve, TRC, тоновые кривые) — гамма-кривые для корректировки яркости и тонов каждого канала. Шейперы это одномерные таблицы или математические функции для каждого цветового канала (красного, зеленого и синего). Они описывают так называемую гамму устройства, как меняется яркость (от теней к светлым участкам) при изменении входного сигнала.

Тег VCGT (Video Card Gamma Table) в ICC-профиле — специальный блок данных, который содержит аппаратные таблицы гамма-коррекций для видеокарты. Он отвечает за тонкую настройку цвета и яркости на самом низком уровне (загружается в видеокарту) до того, как изображение поступит на экран.

Просмотр профиля ICC

С помощью, например, программы `iccdump` ArgyllCMS можно посмотреть содержимое файла `.icc`.

iccdump profile.icc

Будут доступны классы профиля, например, «сканер» (**scnr**), «монитор» (**mntr**) и «принтер» (**prtr**). Каждый из них имеет набор обязательных и необязательных тегов. Многие профили мониторов содержат тег `vcgt` для установки таблиц поиска при запуске программы-загрузчика, то есть для калибровки монитора.

Полностью значение тегов указано в обширном документе ICC File Format for Color.

Основные сигнатуры тегов (4-символьные сокращения) следующие:

- * `desc` — описание профиля;
- * `rXYZ`, `gXYZ` и `bXYZ` задают основные цвета R, G и B, определяющие цветовой охват цветового пространства или устройства;
- * `wtpt` — точка белого, две стандартные точки белого D65 и D50;
- * `rTRC`, `gTRC` и `bTRC` — кривые воспроизведения тонов R, G и B, которые определяют гамму устройства или цветового пространства в профилях ввода и вывода (дисплея).

АТоВ n или ВТоА n — это таблицы сопоставления цветового охвата, используемые, например, в профилях принтеров. А обозначает устройство; В — пространство соединений профиля (PCS); n = 0 для перцепционного, n = 1 для колориметрического, n = 2 для насыщенности. Теги ВТоА n используются для печати; АТоВ n — для проверки (предварительного просмотра печати). Эти таблицы большие. Профили, содержащие их, могут занимать несколько сотен килобайт, а иногда и больше мегабайта. Теги TRC в профилях принтеров отсутствуют.

Все профили мониторов содержат информацию о гамме в тегах TRC, и большинство содержит информацию о загрузчике таблиц поиска (LUT) в частных тегах (vcgt или Mtbx).

Модель Matrix/Shaper

Простая структура matrix/shaper (далее матрица/шейпер) чаще всего применяется для мониторов и некоторых RGB-устройств.

Шейпер (Shaper) это набор из трех одномерных таблиц (LUT). Отвечает за коррекцию серого цвета, гамма-кривую и индивидуальные цветовые каналы для линеаризации монитора.

Матрица (Matrix) это таблица, например, 3×3 , которая описывает первичные цвета монитора (красный, зеленый и синий). Преобразует координаты из цветового пространства монитора в независимое пространство (например, XYZ или Lab) и наоборот.

Модель матрица/шейпер включает в себя два основных этапа математического преобразования цвета.

Сначала данные (например, о поведении пикселей RGB) проходят через шейперные кривые. Это искривляет или линеаризует цвета для приведения их к стандартному виду.

После линеаризации данных шейперами вступает в действие матрица (обычно 3×3). Матрица пересчитывает данные, полученные от шейперов (линейные R, G и B) в абсолютные цветовые координаты (X, Y, Z стандарта CIE). При этом учитываются первичные цвета конкретного устройства

(точки красного, зеленого, синего люминофоров или светодиодов) и белая точка.

Для более сложных устройств, таких как принтеры или печатные машины (но иногда мониторы), профиль может быть построен с помощью cLUT (Color Lookup Table). В таких профилях данные о цвете не вычисляются через матрицы, а берутся из объемных 3D-таблиц, создаваемых в процессе профилирования. Они содержат координаты входных цветов, в которых жестко сопоставлены выходные цвета в пространстве Lab.

Колориметрические режимы (Rendering Intent)

Колориметрические режимы (рендеринг цвета, Rendering Intent) — алгоритмы преобразования цветов из исходного цветового пространства в пространство устройства вывода (монитора, принтера) для корректного отображения оттенков.

Основные режимы следующие.

Перцепционный (Perceptual) сжимает весь цветовой диапазон исходного изображения до охвата выходного устройства. Сохраняет визуальные соотношения между цветами и плавность переходов. Хорошо подходит для фотографий со множеством оттенков.

Относительный колориметрический (Relative Colorimetric) точно передает цвета, которые совпадают в исходном и целевом пространствах. Цвета вне охвата обрезаются до ближайших воспроизводимых. Белая точка исходного изображения сопоставляется с белой точкой бумаги. Метод хорошо подходит для макетирования.

Абсолютный колориметрический (Absolute Colorimetric) сохраняет цвета в исходном виде. В отличие от относительного, точка белого не подгоняется под бумагу (например, голубоватый экранный белый не превратится в теплый оттенок

бумаги). Используется для пробы или при жестких стандартах печати на белой бумаге.

Насыщенность (Saturation) увеличивает яркость и насыщенность цветов, но в ущерб их точности. Метод полезен для получения яркой графики, при этом игнорируется правильный баланс телесных оттенков. Хорошо подходит для диаграмм и презентаций. Используется для дизайна и верстки.

Абсолютная точка белого

Абсолютная точка белого — это стандарт, определяющий, какой именно оттенок цвета воспринимается как чистый белый при съемке, обработке, отображении на экране или печати.

Поскольку человеческое зрение адаптируется к освещению, программное обеспечение требует определить точные координаты цвета для правильной цветопередачи.

В разных сферах этот термин применяется с некоторыми особенностями.

В фотографии и видео это настройка баланса белого, которая указывает камере «цветовую температуру» источника освещения.

Если установить абсолютную точку белого неправильно, цвета на фотографии приобретут паразитный оттенок (например, станут синими или желтыми). Поэтому для точной настройки точки белого фотографы используют специальные серые или белые карты.

В цифровом виде цвет часто кодируется как модель RGB (чистый белый $R=255$, $G=255$, $B=255$). Это восьмибитная модель.

Для профессиональной работы (например, с программами Adobe Photoshop, DaVinci Resolve) монитор калибруют

под определенный стандарт точки белого, чаще всего D65 (6500K).

В печати абсолютного белого цвета не существует, так как белый цвет — это просто участок бумаги без красителя. Поэтому абсолютная точка белого в полиграфии зависит от бумаги. Если бумага имеет слегка кремовый оттенок, то и белые участки изображения будут выглядеть так же.

Цветовые модели RGB, CMYK, HSV, HSL

Цветовые модели — это математические способы описания и воспроизведения цветов. Каждая из них создана для конкретных задач.

Существует множество моделей представления цвета. Наиболее часто встречаются следующие модели.

* Модель RGB, где красный, зеленый, синий это аддитивные основные цвета. Используется для вывода изображений на экраны мониторов и в большинстве форматов графических файлов. Существует несколько цветовых пространств RGB: sRGB, Adobe RGB 1998, Bruce RGB, Chrome 2000 и т.д. Они отличаются друг от друга чистотой основных цветов, что влияет на их цветовой охват (диапазон представляемых цветов).

* Модель CMY(K): голубой, пурпурный, желтый. Субтрактивные основные цвета это дополнения к аддитивным основным цветам (голубой — красный, пурпурный — зеленый, желтый — синий). Широко используется в чернилах для печати с добавлением черного (K), поскольку пигменты и чернила C, Y и M редко дают глубокие, насыщенные черные тона сами по себе (они, как правило, дают мутный коричневый цвет). Модель CMYK важна для допечатной под-

готовки, но не многие фотографии ее применяют постоянно, особенно если публикуют фотографии только в Интернет. Большинство высококачественных фотопринтеров имеет дополнительные чернила (например, к основным четырем могут добавляться светлые М, С и серые), поэтому они не являются CMYK.

* HSV: оттенок, насыщенность, яркость. Оттенок H — это то, что мы воспринимаем как цвет. S отвечает за насыщенность, при этом 100% чистый цвет, 0% оттенок серого. Яркость V связана с насыщенностью. Модель HSV идентична HSB.

* HSL: оттенок, насыщенность, яркость. H совпадает с HSV, но L и V определяются по-другому. В этом случае S аналогичен для темных цветов, но совершенно отличается для светлых. Модель также называется HLS. Модели HSV и HSL получаются путем математического преобразования RGB.

* Grayscale (оттенки серого) — ахроматическая цветовая модель, в которой цвета представлены в виде градаций яркости, от чисто черного до чисто белого.

Модели HSV и HSL были разработаны для представления цветов в системах с ограниченным динамическим диапазоном (уровни пикселей 0-255 для 8-битного цвета).

Использование RGB или CMY(K) для регулировки яркости или насыщенности цвета нецелесообразно, поскольку пришлось бы изменять каждый из трех цветовых каналов, а

изменение их на одинаковую величину для регулировки яркости обычно приводит к изменению цвета (оттенка). HSV и HSL удобны для редактирования, поскольку программному обеспечению нужно изменять только V, L или S. Программы для редактирования изображений обычно преобразуют данные RGB в одно из этих представлений, выполняют коррекцию, а затем преобразуют данные обратно в RGB.

Цветовые пространства Lab (CIELAB) и Luv (CIELUV) рассматриваются в другой главе.

*** *Chrome 2000* — специализированное широкое цветовое пространство RGB, созданное для воспроизведения полного спектра цветов, который можно отсканировать с цветных позитивных пленок (слайдов).

*** *Bruce RGB* — рабочее цветовое пространство, разработанное колористом и экспертом по цифровой обработке изображений Брюсом Фрейзером (Bruce Fraser). Компромисс между узким пространством sRGB и более широким Adobe RGB для оптимизации редактирования 8-битных изображений.

Цветовое пространство CIE XYZ

CIE XYZ — это математическое цветовое пространство, разработанные Международной комиссией по освещению (CIE) для точного количественного описания цветов. Такие математические пространства не привязаны к конкретному дисплею или принтеру и охватывают все цвета, которые может различить человек.

Цветовую модель XYZ можно считать фундаментом для большинства других цветовых систем.

В ее основе лежат усредненные кривые восприятия цвета человеческим глазом. При этом X отвечает за «красную» составляющую, Y задает яркость, Z отвечает за «синюю» составляющую. Координаты всегда положительные, а любой видимый глазом цвет описывается как сумма этих трех базовых стимулов.

Цветовое пространство CIE $L^*u^*v^*$

Цветовая модель $L^*u^*v^*$ (CIELUV) предложена в 1976 году, чтобы сделать цветовое пространство математически «равномерным».

В таком пространстве равные геометрические расстояния между двумя точками (цветами) соответствуют одинаковому визуальному отличию для человеческого глаза. В этом случае L^* это светлота объекта, (где $L^{*}=0$ абсолютно черный цвет, а $L^{*}=100$ чистый белый); u^* это координата, показывающая смещение цвета в зеленую (отрицательные значения) или красную (положительные) сторону, а v^* показывает смещение цвета в синюю (отрицательные значения) или желтую (положительные) сторону.

XYZ используется как переходник для конвертации цветов между устройствами (из RGB в CMYK и т.д.). Пространство $L^*u^*v^*$ лучше всего подходит для измерения цвета самосветящихся объектов (например, LED-экранов, дисплеев, ламп), расчетов цветовых различий.

В системе XYZ расстояния между точками не соответствуют тому, как мы видим цвета. Пространство $L^*u^*v^*$ адаптировано под человеческое зрение: изменение значения на одну величину воспринимается глазом одинаково, независимо от исходного цвета.

Пространство CIE L*a*b*

В полиграфии и для работы с печатными изображениями часто используют равномерное пространство CIE L*a*b*, где вместо u^* и v^* используются a^* (зеленый-красный) и b^* (синий-желтый).

Пространство CIE L*a*b* принято в 1976 году для устранения главного недостатка XYZ: неравномерности визуального восприятия цвета при изменении координат. В CIE L*a*b* геометрическое расстояние между двумя цветами в пространстве соответствует тому, как видит эту разницу человеческий глаз. Здесь L^* светлота (0 абсолютно черный, 100 абсолютно белый), a^* — ось «зеленый-красный» (отрицательные значения — зеленый, положительные — красный), b^* — ось «синий-желтый» (отрицательные значения — синий, положительные — желтый).

Значения L рассчитываются прямо из трехкомпонентных значений XYZ с учетом точки белого цвета.

Использование пространства L*a*b* является стандартом в колориметрии и полиграфии для оценки цветовых различий, так как оно аппаратно независимо.

Значения Delta E

Формула цветового отличия (англ. Color difference), цветоразность, цветовое расстояние — математическое представление, позволяющее численно выразить различие между двумя цветами в колориметрии.

Международный комитет CIE (фр. Commission Internationale de l'Eclairage) задает определение цветовой разницы через метрику Delta E. Буква «E» обозначает «ощущение» (нем. empfindung).

CIE76 Delta E — стандартная формула Международной комиссии по освещению (CIE), измеряющая математическое расстояние между двумя цветами. Она показывает, насколько один цвет визуально отличается от другого, позволяя перевести субъективное восприятие цвета в объективное числовое значение.

CIE94 Delta E это также математическая формула, которая с более высокой точностью вычисляет разницу.

CIEDE2000 — современная математическая метрика для количественного измерения воспринимаемой человеческим глазом разницы между двумя цветами. Она является текущим стандартом Международной комиссии по освещению (CIE).

Значения CIEDE2000 Delta E — числовая мера цветово-

го различия между двумя цветами. Она учитывает нелинейность человеческого зрения и корректирует восприятие яркости, насыщенности и цветового тона.

Шкала показывает, насколько заметна разница для человеческого глаза. Если значение меньше 1.0, считается, что разница неразличима глазу обычного человека. Если значение от 1.0 до 2.0, то разница заметна при близком сравнении, что приемлемо для некоторых устройств, в том числе для большинства мониторов и качественной печати. В случае, если значение от 2 до 5, то считается, что разница легко заметна. Если значение больше 10, то цвета воспринимаются как совершенно разные.

Стандартные источники света

Стандартные источники света — теоретические математические модели спектрального состава или эталонные модели освещения стандартизованные Международной комиссией по освещению (CIE) для объективной оценки и измерения цвета.

Они делятся на теоретические спектры, эмулирующие дневной свет, лампы накаливания и люминесцентное освещение. Используются в колориметрии, фотографии, полиграфии и дизайне для точной оценки, измерения и калибровки цветопередачи.

Основные источники света делятся на следующие серии: лампы накаливания (A), дневной свет (D), люминесцентные лампы (F).

*** *Источник B — устаревший источник, имитирующий прямой солнечный свет (около 4874K).*

Серия А (лампы накаливания)

Источник А имитирует свет обычной лампы накаливания. Имеет цветовую температуру около 2856K. Широко используется для оценки того, как объекты выглядят в теплом искусственном освещении.

Серия D (дневной свет)

Источники D50, D55, D65, D75 точно воспроизводят спектральные характеристики естественного дневного света.

D50 эмулирует полуденный солнечный свет с цветовой температурой 5000K. Является отраслевым стандартом в полиграфии и графическом дизайне (ISO 3664).

D50M2 — модифицированный источник D50, включающий УФ-компоненту (UV cut), часто используется для точной оценки белизны бумаги и оптических отбеливателей.

D65 — стандартный усредненный дневной свет с цветовой температурой 6500K. Является общемировым эталоном в фотографии, производстве текстиля, красок и для просмотра изображений на экранах (стандарт sRGB).

*** *UV cut* (буквально «ультрафиолетовая отсечка») — технология или физическое покрытие, предназначенное для блокирования или существенного снижения пропускания ультрафиолетовых (УФ) лучей.

Серия F (люминесцентные лампы)

Источники серии F созданы для имитации различных типов коммерческих и офисных люминесцентных ламп.

F5 — стандартная люминесцентная лампа «дневного белого света» (Daylight) с цветовой температурой около 6500K.

F8 имитирует люминесцентную лампу типа «холодный белый свет» (Cool White, 4100K).

F10 это люминесцентная лампа, имитирующая узкополосный свет (например, Philips TL84/TL85) с нейтральной цветовой температурой около 5000K. Применяется для оценки товаров и интерьеров в условиях офисов и торговых залов.

Режимы измерения M0, M1, M2

Режимы измерения по стандарту ISO 13655 соотносятся следующим образом.

M0 базируется на осветителе типа A (лампа накаливания).

Дает искаженный результат на материалах, чувствительных к УФ-излучению, так как в нем нет достаточного количества ультрафиолета для активации отбеливателей.

M1 (метод 1 и 2) базируется на D65. Обеспечивает правильную оценку флуоресценции материалов (например, бумаги с оптическими отбеливателями), так как спектр источника прибора точно соответствует дневному свету D65.

M2 использует источник с УФ-фильтром (UV cut), отсекающий ультрафиолетовую часть спектра. Флуоресценция не возбуждается.

Стандартный источник света D65 (дневной свет со спектром около 6500K) стандартом ISO 13655 привязан к режиму M1.

Стандарт CIE 1924

CIE 1924 — это утвержденный Международной комиссией по освещению (CIE) стандарт, определяющий относительную спектральную чувствительность человеческого глаза при дневном (фотопическом) зрении. Он задает базовую кривую спектральной световой эффективности. Максимум кривой приходится на длину волны 555 нм (желто-зеленый свет). Ему присвоено значение $V(555) = 1.0$. Стандарт охватывает спектр от 380 до 780 нм. Вне этого диапазона человеческий глаз в обычных условиях свет практически не воспринимает.

Именно эта функция используется для пересчета физической мощности излучения в единицы зрительного восприятия (люмены).

CIE 1924 заложил фундамент современной фотометрии.

На основе кривой определены все основные световые величины в Международной системе единиц (СИ), такие как световой поток (люмен) и освещенность (люкс).

**** Люмен (лм) — единица измерения светового потока. Она характеризует суммарное количество «видимого» света, которое излучает источник.*

**** Люкс (лк) — единица измерения освещенности, которая показывает, сколько света падает на конкретную пло-*

щадь.

В 1931 году кривая СІЕ 1924 была встроена в математическое описание как функция.

Стандартный наблюдатель CIE 1931

Стандартный наблюдатель CIE 1931 (2 градуса) — это математическая модель Международной комиссии по освещению, которая задает усредненную реакцию человеческого глаза на свет. Она описывает, как человек воспринимает различные цвета, и служит эталоном в колориметрии и цветопередаче. Основная модель с углом обзора 2 градуса основана на экспериментах 1931 года, где участники наблюдали за небольшими цветовыми образцами на расстоянии.

В основе модели лежат три функции и они показывают, сколько базовых цветов (красного, зеленого и синего) нужно смешать, чтобы получить чистый спектральный цвет заданной длины волны.

Именно на данных 2-градусного наблюдателя построена базовая цветовая модель CIE XYZ 1931, где параметр Y отвечает за яркость, а X и Z за цветность.

Наблюдатель Стайлса и Берча

Наблюдатель Стайлса и Берча 1955 года — это эталонная система цветовых координат и функций цветового соответствия (Color Matching Functions, CMF), полученная в ходе фундаментальных экспериментов в Национальной физической лаборатории Великобритании (NPL).

В отличие от более ранней системы CIE 1931 года, данные Стайлса и Берча были получены путем прямых измерений непосредственно от группы из 10 испытуемых. Эксперименты проводились для зоны центрального зрения с углом обзора 2 градуса, что соответствует восприятию мелких деталей. Данные 1955 года послужили важной экспериментальной базой для оценки цветового восприятия. Позднее, в 1959 году, ученые расширили эксперимент до 49 наблюдателей с углом обзора 10 градусов, и эти исследования легли в основу действующего дополнительного стандартного наблюдателя 1964.

Наблюдатель CIE 1964

В 1964 году ввели альтернативный стандарт для крупных объектов (угол зрения 10 градусов). Наблюдатель CIE 1964 отражает восприятие периферийного зрения.

Наблюдатель Джадда и Восса

Наблюдатель Джадда и Восса (англ. Judd & Voss 1978) — это модифицированная стандартная функция цветового соответствия (CMF), используемая для измерения и калибровки цвета.

Основана на исследованиях цветового зрения Джадда (1951) и Восса (1978), корректирующих реакцию колбочек глаза на коротких длинах волн по сравнению с устаревшей таблицей CIE 1931.

Она точнее стандартного наблюдателя CIE 1931 описывает восприятие цвета человеческим глазом, особенно на белых OLED-дисплеях. Используется в программах управления цветом (например, ArgyllCMS) для более точного визуального сведения профессиональных эталонных экранов (эмиссионных дисплеев).

Служит для устранения метамеризма при переходе с мастер-мониторов на бытовые WOLED-телевизоры и для настройки белой точки ($x: 0.3067$, $y: 0.318$) в студиях.

Поскольку в индустрии стандартом де-факто остается CIE 1931, профили ICC, созданные с использованием наблюдателя Джадда и Восса, будут несовместимы со стандартными рабочими пространствами. Они должны использоваться преимущественно для визуальной подгонки между устрой-

ствами в конкретной студии.

*** Эмиссионные (или излучающие) дисплеи — экраны, в которых каждый пиксель самостоятельно генерирует свет. В отличие от традиционных жидкокристаллических (LCD) матриц, им не требуется общая подсветка, что позволяет добиться глубокого черного цвета и высокой контрастности.

*** WOLED (White OLED) — популярная технология OLED-дисплеев, когда базовые пиксели излучают белый свет, проходящий через цветные фильтры (красный, зеленый, синий).

Наблюдатель Шоу и Фэйрчайлда

Наблюдатель Шоу и Фэйрчайлда (Shaw and Fairchild, 2°) — математическая модель человеческого зрения, созданная Марком Шоу (Mark Q. Shaw) и Марком Фэйрчайлдом (Mark D. Fairchild). Была разработана в ходе их исследований, а затем подробно описана в публикациях начала 2000-х гг.

В колориметрии используется для описания того, как среднестатистический человек воспринимает цвета мелких объектов. Эталонные функции (CMF) оптимизированы для более точной оценки соответствия и калибровки цветов между различными дисплеями (например, при переходе с мониторов на печать).

Часто встречается в профессиональном программном обеспечении для управления цветом и калибровки мониторов в качестве альтернативы более старой стандартной модели CIE 1931 года.

Наблюдатель CIE 2012

Наблюдатель CIE 2012 2 градуса — обновленный набор функций, включающий версии для 10 градусов, основанный на более точных фундаментальных физиологических данных колбочек сетчатки. На современных узкоспектральных дисплеях (например, OLED или Quantum Dot) классический стандарт 1931 года иногда дает ошибку восприятия, из-за чего белый цвет может казаться зеленоватым.

Переход на наблюдателя CIE 2012 2 градуса в калибровочном программном обеспечении позволяет скомпенсировать эту ошибку и точнее настроить цветопередачу.

Цифровое представление цвета

Норман Корен для лучшего понимания процесса представления цвета в компьютерах предлагает сосредоточиться на цветовых пространствах RGB, поскольку они используются для цифровых изображений.

В цветовом пространстве RGB цвет описывается тремя 8-битными байтами, каждый из которых может принимать значения от 0 до 255. Так, чистый красный 255,0,0, зеленый 0,255,0, синий 0,0,255, черный 0,0,0, белый 255,255,255. Некоторые программы (Photoshop, ImageMagick) могут использовать 10-битный режим работы с цветом: 10-битный режим дает 1024 оттенка на каждый из цветовых каналов (RGB), в отличие от 8-битного, предлагающего всего 256 градаций. Это важно для бесшовных градиентов (например, фотографий неба, вывода в мягких тенях).

(ImageMagick по умолчанию компилируется с поддержкой только 8-битного режима. Для включения 10-битного режима требуется компиляция программы с включенной опцией выбора режима.)

Но числовые значения RGB в файле изображения не имеют однозначного значения, если они не связаны с цветовым пространством.

Как было написано ранее, в рабочем процессе с управле-

нием цветом цветовая характеристика каждого устройства, каждого файла изображения и каждого изображения в памяти (ОЗУ) компьютера определяется файлом, называемым ICC-профилем.

В основе управления цветом лежит преобразование или сопоставление цветовых охватов между устройствами с разными гаммами и файлами с разными цветовыми пространствами. Преобразования выполняются модулем или алгоритмом сопоставления цветов (СММ, см. выше), также называемым цветовым движком, с использованием данных из профилей. СММ объединяет входные и выходные профили, они привязаны к PCS, для выполнения прямого преобразования между устройствами или цветовыми пространствами. При этом происходит интерполяция цвета.

Разные программы используют разные цветовые движки. Так, некоторые программы применяют LittleCMS, но Adobe Photoshop использует собственный цветовой движок (ACE), цветовой движок Apple называется ColorSync.

Многие операционные системы (ОС) имеют встроенные средства работы с цветом, такие как ColorSync (Apple macOS). Это пионерская технология для согласования цветопередачи, разработанная компанией Apple Inc. Она работает на уровне операционной системы, заставляя все совместимые программы корректно отображать цвета.

В ОС Microsoft Windows для этих же целей используется базовая подсистема WCS/ICM (Windows Color System /

Image Color Management), она позволяет применять ICC-профили, хотя зачастую требует ручной настройки сторонних программ.

В Linux применяются собственные технологии управления цветом, поддерживающие OpenICC для свободного программного обеспечения.

*** *OpenICC* — международное сообщество разработчиков и открытый проект, созданный для улучшения и стандартизации систем управления цветом (Color Management) в операционных системах с открытым исходным кодом, таких как *Linux*.

*** *ColorSync* — это встроенная в *macOS* технология управления цветом. Она обеспечивает точное и согласованное отображение цветов на мониторе, при печати или просмотре на разных устройствах. Технология автоматически адаптирует цвета, используя специальные ICC-профили для каждого дисплея, принтера или сканера.

*** *Движок ACE (Adobe Color Engine или Adobe Color Management Engine)* — базовый модуль управления цветом в *Adobe Photoshop* и других программах компании *Adobe*. Отвечает за то, чтобы цвета на изображении выглядели одинаково при просмотре на мониторе, сохранении для Интернета или при подготовке к печати.

CMM LittleCMS

LittleCMS и ArgyllCMS — это два фундаментальных инструмента для работы с цветом в операционной системе Linux, но они выполняют принципиально разные задачи: LittleCMS работает как «транслятор» цвета (цветовой движок, CMM), ArgyllCMS как мощный комплекс для создания точных цветовых профилей и калибровки.

LittleCMS (LCMS) — это компактная, высокоточная и быстрая библиотека с открытым исходным кодом, предназначенная для управления цветом (CMM). Главная задача CMM — гарантировать, что цвет на входе (например, файл с изображением, сделанным фотоаппаратом) будет правильно и без искажений передан на выход, на монитор или принтер.

Библиотека является очень авторитетной и используется многими графическими программами, такими как ACDSee, Darktable, Digikam, Foxit Reader, GIMP, GraphicsMagick, ICC Examin, ImageMagick, Inkscape, Krita, Mozilla Firefox, OpenJDK, Opera, RawTherapee, Scribus, UFRaw, VueScan, Google Picasa, mpv.

Процесс трансформации цвета начинается с того, что LCMS загружает два ICC-профиля: профиль источника описывает, как цвета воспринимаются конкретным устройством или пространством (например, Adobe RGB как профиль мо-

нитора); профиль приемника описывает цветовые возможности устройства, на которое нужно вывести изображение (допустим, профиль принтера FOGRA39 или стандартный sRGB).

LCMS переводит цвета из цветового пространства источника в независимое от устройств пространство PCS (Profile Connection Space). LCMS использует как связующее звено PCS пространство CIE Lab. Так как напрямую сопоставить цвета RGB монитора и CMYK принтера (или любые другие) математически сложно, LCMS переводит цвет в независимое цветовое пространство CIE Lab. Это пространство охватывает все цвета, которые способен различить человеческий глаз. Затем библиотека рассчитывает математическую цепочку конвертации: RGB -> Lab -> CMYK.

Также выбирается метод рендеринга (Rendering Intent), чтобы обработать сжатие цветового охвата, когда цвета выходят за пределы возможностей целевого устройства (например, перцепционное сжатие или относительно колориметрическое).

Кроме того, LCMS используются заранее вычисленные многомерные таблицы (LUT) и алгоритмы интерполяции, чтобы применять сложные цветовые преобразования к пикселям изображения как можно эффективнее.

LCMS выступает как движок СММ, математически сшивая профили друг с другом с учетом выбранного метода сжатия.

Разработчики LittleCMS предоставляют несколько дополнительных утилит. Это Color Translator, программа для пакетной конвертации изображений (TIFF, JPEG, PNG, WebP) и работы с профилями ICC; также Color Abstractor, программа для создания специальных цветовых эффектов и тонкой настройки цветопередачи при экранной цветопробе (soft-proofing). Для визуального анализа содержимого файлов ICC-профилей можно воспользоваться программой Insighter. Существует утилита для точной визуальной доработки калибровочных профилей монитора Monitor ICC Tweaker.

Подробно о рендеринге цвета

Программы, поддерживающие ИСС, решают две задачи: (1) распознавания цветовых пространств и профилей устройств и (2) применения соответствующего сопоставления цветового охвата при передаче изображений.

Сопоставление цветового охвата выполняется с использованием одного из четырех методов (рендеринг цвета), распознаваемых стандартом ИСС (см. в предыдущих главах).

Алгоритм сопоставления определяет, как обрабатываются цвета, присутствующие в исходном изображении, но выходящие за пределы цветового охвата в целевом изображении.

1. Перцепционный рендеринг сохраняет полный цветовой охват. Цветовой охват расширяется или сжимается при переходе между цветовыми пространствами для поддержания согласованного общего вида. Цвета с низкой насыщенностью изменяются очень незначительно. Более насыщенные цвета в пределах цветовых охватов обоих пространств могут быть изменены, чтобы отличить их от насыщенных цветов за пределами меньшего цветового охвата.

Перцепционный рендеринг применяет одинаковое сжатие цветового охвата ко всем изображениям, даже если изображение не содержит цветов, выходящих за пределы цвето-

го охвата. Перцепционное сопоставление цветового охвата в основном обратимо; оно наиболее точно в 10-битном режиме. Ни один из других способов рендеринга не является обратимым.

2. Относительная колориметрическая обработка (сохранением идентичного цвета и точки белого) точно воспроизводит цвета в пределах цветового охвата и обрезает цвета за его пределами до ближайшего воспроизводимого оттенка. Она необратима. Брюс Фрейзер также отмечает, что для изображения с ненасыщенными цветами, например, с пастельными оттенками, относительный колориметрический рендеринг может дать относительно точный результат.

Возможно, если изображение не содержит сильно насыщенных важных цветов, вы получите хороший результат, используя относительную колориметрическую обработку, лучший, чем при перцепционном рендеринге, пишет Норман Корен.

3. Абсолютная колориметрическая обработка точно воспроизводит цвета в пределах цветовой гаммы и обрезает цвета за пределами цветового охвата до ближайшего воспроизводимого оттенка, жертвуя насыщенностью и, возможно, яркостью. На тонированной бумаге белые цвета могут быть затемнены, чтобы сохранить оттенок идентичным оригиналу. Например, к белому цвету кремовой бумаги можно добавить голубой цвет, что фактически затемнит изображение. Редко представляет интерес для фотографов.

4. Насыщенность, также называемая графической или сохраняющей насыщенность сопоставляет насыщенные основные цвета в исходном изображении с насыщенными основными цветами в целевом изображении, игнорируя различия в оттенке, насыщенности или яркости. Подходит для блочной графики. Также редко представляет интерес для фотографов.

На практике фотографы почти всегда используют относительное колориметрическое или перцепционное намерения, так как для естественных изображений абсолютный рендеринг или насыщенность создают неестественные цвета. Относительное колориметрическое намерение отсекает цвета вне указанного диапазона, но оставляет цвета в гамуте неизменными; перцепционное намерение плавно перемещает цвета вне диапазона цветового охвата, сохраняя градации и цветовой охват.

*** *Норман Корен написал программу Gamutvision, позволяющую оценить фактическую производительность рендеринга.*

Одномерные и многомерные таблицы LUT

Таблица поиска (LUT, Look-Up Table) характеризуется своей размерностью, то есть количеством индексов, необходимых для индексации выходного значения. Простейшие таблицы поиска индексируются одной переменной и поэтому называются одномерными (1D) таблицами поиска.

Одномерные таблицы поиска используются в обработке изображений, чаще всего в виде гамма-таблиц монитора. Как правило, применяются три таблицы поиска — по одной для каждого цветового канала. Таблицы позволяют эффективно изменять интенсивность пикселей непосредственно перед тем, как изображение будет выведено на монитор.

Однако многие операторы работы с цветом не могут быть параметризованы одной переменной, и поэтому их невозможно реализовать с помощью одномерной таблицы поиска. Одномерные LUT-таблицы работают по одной оси: они могут регулировать только значения яркости (люминесценции). При применении одномерной LUT-таблицы тональное значение каждого цветового канала изменяется независимо, поэтому невозможно обеспечить межканальные взаимодействия. Одномерная LUT-таблица может сделать красные цвета ярче, а синие темнее, но не может сместить крас-

ный цвет в сторону оранжевого или синий в сторону бирюзового. Поэтому мы получаем ограниченное изменение цвета, что хорошо подходит для простой коррекции яркости и контраста, но не для сложной цветокоррекции.

3D LUT-таблицы применяет трехмерный цветовой куб, когда каждая ось представляет один из каналов RGB. Вместо того чтобы регулировать каждый канал, 3D LUT-таблица перемещает координаты цвета внутри куба, позволяя одновременно управлять всеми тремя каналами.

3D LUT-таблица способна изменять оттенки, яркость, регулировать насыщенность, создавая точные и реалистичные цветовые преобразования.

Ключевым параметром для 3D LUT считается размер сетки, определяющий количество точек выборки вдоль каждой оси цветового куба. Чем больше размер сетки, тем больше точек данных о цвете содержит LUT, тем плавнее и точнее будут цветовые переходы.

Профессиональные видеокарты и мониторы, программы для цветокоррекции используют объемные 3D LUT.

Современные графические процессоры допускают аппаратное ускорение поиска трехмерных текстур с трилинейной аппроксимацией.

Программы-загрузчики (например, `dispwin`) позволяют управлять загрузкой профилей в системную таблицу GPU для получения точных цветов.

Для многих монтажных программ (DaVinci Resolve,

Adobe Premiere Pro) загрузчики не нужны — модули программ сами загружают 3D LUT файлы. Хотя в некоторых случаях может потребоваться преобразование одного формата в другой.

Обратите внимание, если у вас встроенная графика от Intel, LUT-загрузчики могут работать некорректно из-за особенностей обработки команд драйвером.

*** *LUT в видеокартах и мониторах — аппаратная таблица преобразования цветов. Например, такая таблица может быть встроена в GPU видеокарты. Она используется для коррекции цвета на уровне драйвера. Профессиональные мониторы с 10-битной матрицей, способной отображать более 1 миллиарда цветов, могут иметь 12- или даже 16-битную 3D LUT-таблицу для критически важной работы с цветом, обеспечивая максимально плавные градиенты и высокую точность именно при аппаратной калибровке. Профессиональные мониторы сохраняют точные профили калибровки прямо во внутреннюю собственную память, что также обеспечивает независимость от видеокарты ПК и, как правило, хорошие результаты. Это также позволяет применять цветовые схемы (например, переключение между цветовыми охватами sRGB, DCI-P3 или Adobe RGB) прямо на аппаратном уровне монитора.*

Особенности ОС Linux

В современных операционных системах семейства Linux работа с цветом (просмотр сайтов Интернета, фотографий, видео, печать) настраивается не очень сложно, но следует понимать, что для получения максимально возможного результата потребуются монитор и видеокарта с интерфейсом DisplayPort или HDMI (версии выше 2.0) с поддержкой 10-битного выхода и полноценной поддержкой DDC (Display Data Channel). При этом драйвера видеокарты также должны поддерживать 10-битный выход.

**** 8-битный выход указывает глубину цвета на один канал (красный, зеленый, синий). При этом в сумме получается 24. Таким образом, 24-битный монитор указывает общую глубину цвета для одного пикселя (все три канала по 8 бит). Чаще всего, когда говорят о 8-битном выходе, то формально подразумевают 24-битный дисплей.*

Если вы не перфекционист, вас устроит 8-битный выход и видеокарта с поддержкой любого цифрового выхода. Однако при покупке монитора для фотографических работ сразу обращайте внимание на наличие входа DisplayPort или современного интерфейса HDMI, а также поддержку DDC.

Сегодня DisplayPort, возможно, все еще наилучший выбор, если вы собираетесь заниматься цифровой фотогра-

фией. А полноценная поддержка DDC дает гарантию качественной электроники монитора.

Однако в ближайшем будущем скорее всего произойдут изменения: даже сейчас доступны внешние видеокарты (eGPU), они подключаются через порты Thunderbolt, USB4 или OCuLink, ускоряя рендеринг, цветокоррекцию в программах, подобных DaVinci Resolve, и экспорт видео, хотя скорость передачи данных ограничивает их мощность.

*** *Display Data Channel (DDC)* — интерфейс обмена данными между компьютером и монитором. Существуют два варианта этого интерфейса: DDC 1 — односторонний, от монитора к компьютеру, передача данных о модели монитора и параметрах поддерживаемых видеорежимов; DDC 2 — двусторонний обмен данными. При возможности, следует выбирать монитор с полноценной поддержкой DDC.

*** *DisplayPort (DP)* — цифровой интерфейс для передачи высококачественного видео и аудио, разработанный VESA. Он используется в основном для подключения мониторов к ПК, обеспечивая высокую частоту обновления, разрешение и поддержку многомониторных конфигураций (MST). DP — стандарт для игровых мониторов и мощных рабочих станций.

*** *OCuLink (Optical-Copper Link)* — это аппаратный интерфейс для прямого подключения устройств с шиной PCI Express (PCIe) к материнской плате с помощью внешних кабелей.

«Настоящие» 10-битные устройства стоят очень дорого, как правило, это профессиональные устройства для телевидения или кинематографии. (См. мониторы фирмы Eizo, JVC, Sony для профессионального рынка.)

Представленные на потребительском рынке мониторы, рекламируемые как 10-битные, чаще всего восьмибитные устройства с поддержкой технологии FRC.

**** 8 бит + FRC (Frame Rate Control) — технология имитации 10-битного цвета (более 1 млрд оттенков) на 8-битной матрице (16.7 млн оттенков). Это обеспечивает плавные градиенты, приближенные к профессиональным дисплеям, но в более доступном среднем ценовом сегменте, предотвращая артефакты цветопередачи.*

С видеокартами тоже существуют известные проблемы при работе в Linux, в основном из-за проприетарного программного обеспечения и недостатков драйверов.

Многие программы и функции (MadVR, Adobe BPC), так или иначе улучшающие работу с цветом в операционных системах, недоступны в Linux, это тоже следует учитывать.

**** Программа madVR — высококачественный видеореNDERER (визуализатор) для MS Windows, работающий через GPU, обеспечивает высокое качество изображения при просмотре видео. Улучшает апскейлинг (масштабирование), цветопередачу, резкость и динамически преобразует HDR в SDR. ВидеореNDERER популярен среди владельцев домашних кинотеатров.*

*** *Adobe BPC* — функция (настройка), встроенная в механизмы управления цветом Adobe (например, в программах *Photoshop*, *InDesign*, *Illustrator* при конвертации цветов или экспорте в *PDF*.)

Впрочем, с видеокартами ситуация чуть-чуть изменилась к лучшему — даже *NVIDIA*, фирма, известная проталкиванием профессиональных карт *Quadro* в ущерб игровым и офисным видеокартам с ограничением битности, отказалась от своей прежней политики и теперь 10-битный режим поддерживается на некоторых видеокартах, предназначенных для любительского сегмента. Более-менее доступны мониторы, способные работать со встроенными 10-битными (и выше) *LUT*-таблицами, что сразу же дает ощутимые преимущества при просмотре фотографий или изображений (в частности, хорошее сглаживание). Однако выбор монитора и видеокарты — это отдельная сложная тема.

*** *LUT (Look-Up Table)* — это таблица цветовых преобразований, используемая в мониторах для точного сопоставления входных *RGB*-значений с выходными, что позволяет корректировать контрастность, гамму и цвет. Аппаратный *LUT* внутри монитора (часто *3D LUT*) может применяться в обход видеокарты, обеспечивая профессиональную точность цветопередачи.

*** *NVIDIA Quadro* — серия профессиональных графических процессоров (*GPU*) от *NVIDIA*, разработанная для рабочих станций. В отличие от игровых *GeForce*, видеокарты

оптимизированы для использования в CAD/CAM (САПР), 3D-моделировании, рендеринге, видеомонтаже и научных вычислениях. Основные отличия: сертифицированные драйверы, большой объем видеопамати (иногда ECC) и поддержка 10/12-битного цвета.

Как включить поддержку 10-битного вывода

В Linux потребуется включить поддержку 10-битного режима. Но это возможно лишь в том случае, если такой режим доступен для драйвера видеокарты. (Например, их однозначно поддерживают карты серии Quadro, кроме самых ранних. А также, как утверждает производитель, современные видеокарты типа NVIDIA GeForce 10-й серии и новее, AMD Radeon RX 400 и новее.)

По умолчанию в Linux программное обеспечение X11 настроено на 24-битный цвет (True Color). Иными словами, это 8-битный режим ($3 \times 8 = 24$).

Если у вас поднят сервер X11, то создайте в директории /etc/X11/ файл (например, с именем color.conf) с необходимыми настройками, после этого следует перезагрузить графический сервер и проверить работу в 10-битном режиме соответствующей командой.

В конфигурационном файле необходимо указать разрешение.

```
Section "Screen"
```

```
Identifier "Screen0"
```

```
Device "Device0"
```

```
Monitor "Monitor0"
```

DefaultDepth 30

Option "Coolbits" "28"

SubSection "Display"

Depth 30

EndSubSection

EndSection

Затем можно проверить работу с помощью программ `xwininfo`, `xdpyinfo`:

`xwininfo -root | grep Depth`

Xorg можно запускать в режиме 30bpp (иногда называется «Deep Color») с открытыми драйверами, например, Nouveau или AMDGPU, и одним или двумя функциональными мониторами. Разумеется, требуется цифровой интерфейс DisplayPort.

Следующие команды сделают это:

`Xorg -depth 30 -retro`

`startx -depth 30`

*** *AMDGPU* — это современный свободный драйвер с открытым исходным кодом для видеокарт AMD Radeon (начиная с архитектуры GCN), встроенный непосредственно в ядро Linux. Он обеспечивает работу графики, 3D-ускорение (через Mesa) и управление питанием, заменяя устаревшие драйверы radeon для новых карт.

*** *Nouveau* — это бесплатный драйвер с открытым исходным кодом для видеокарт NVIDIA, встроенный в ядро Linux. Он обеспечивает базовую 2D/3D-графику, используя

ется по умолчанию при установке Linux, но уступает проприетарным драйверам NVIDIA в играх и вычислительных задачах.

Обратите внимание, если вы собираетесь профилировать дисплей, то современные мониторы требуют, как правило, наличия спектрофотометра (пока еще дорогого); применять колориметр можно только в том случае, если доступны так называемые файлы спектральной коррекции. Последние можно скачать (если они предоставляются производителем) на соответствующих сайтах или даже сделать самому с помощью спектрофотометра и программ ArgyllCMS.

Так, на сайте X-rite лежит программа для колориметра Colormunki, где содержатся следующие файлы поправок при работе с мониторами: CCFLFamily_07Feb11.edr, OLEDFamily_20Jul12.edr, PlasmaFamily_20Jul12.edr, ProjectorFamily_07Feb11.edr, RGBLEDFamily_07Feb11.edr, RG_Phosphor_Family_25Jul12.edr, TechnologyStrings.txt, WGCCFLFamily_07Feb11.edr, WLEDFamily_07Feb11.edr.

Как видно из названий, эти файлы предназначены для работы с мониторами с той или иной подсветкой или технологией.

Поддержка команд MCCS и DDC/CI

Большинство дисплеев, возможно, кроме встроенных в ноутбуки, имеют виртуальную панель управления (VCP), которая реализует функции, определенные в наборе команд управления монитором (MCCS).

Если монитор поддерживает двунаправленный протокол DDC/CI, то это позволит управлять монитором прямо из операционной системы, что может обеспечить некоторые дополнительные возможности, например, переключение режимов монитора и т.д. Кроме того, это свидетельствует о качестве самого монитора. Увы, на сегодняшний день полнофункциональных программ для работы DDC в Linux катастрофически мало.

В основном, для управления настройками монитора (яркость, контраст, переключение входов) по протоколу DDC/CI в Linux используются утилиты, позволяющие взаимодействовать с монитором через I2C шину. Основные инструменты: `ddcutil` (наиболее полная консольная утилита), `ddccontrol` (старая утилита, есть GUI) и `Monic`.

Так, `ddcutil` — это программа для Linux, позволяющая запрашивать и изменять настройки монитора. Как правило, `ddcutil` взаимодействует с VCP монитора по шине I2C в соответствии со стандартом интерфейса передачи данных/ко-

манд (DDC/CI).

В качестве альтернативы, некоторые мониторы (например, Eizo ColorEdge, Apple Cinema) предоставляют USB-интерфейс для VCP, как описано в спецификации класса управления монитором по USB.

Один из вариантов применения таких программ — управление цветовыми профилями из операционной системы.

*** *DDC/CI (Display Data Channel / Command Interface)* — стандартный протокол, позволяющий управлять настройками монитора (яркость, контраст и т.д.) напрямую с компьютера через кабель (HDMI, DisplayPort, USB-C) без использования регуляторов на корпусе или меню OSD. Он работает через двусторонний обмен данными, когда ПК посылает VCP-коды, а монитор их выполняет.

*** *MCCS (Monitor Control Command Set)* — стандарт VESA, позволяет настраивать параметры монитора (яркость, контраст, цвета, выбор входа и т.д.) программно с компьютера по интерфейсам DDC/CI, I2C или USB.

*** *VCP (Virtual Control Panel, виртуальная панель управления)* — это стандартный цифровой код, используемый в мониторах для передачи команд управления через интерфейсы DisplayPort, HDMI или DVI (технология DDC/CI). Позволяет операционной системе компьютера управлять настройками дисплея напрямую.

Управление цветом в Linux

Управление цветом Linux, Linux color management

Управление цветом в Linux основывается на использовании точных профилей ICC (International Color Consortium), а также DCP (DNG Color Profile) и других технологий, описывающих поведение устройств ввода и вывода для приложений, умеющих с ними работать. Эти приложения выполняют преобразования между профилями устройств и цветовыми пространствами. Такое преобразование гамутов, основанное на профилях устройств, является сутью управления цветом.

Исторически управление цветом не входило в концепцию X Window System, на которой основывается большая часть графической поддержки Linux, и поэтому рабочие процессы с управлением цветом было несколько сложнее реализовать в Linux, чем в других ОС, таких как Microsoft Windows или macOS. В настоящее время Linux хорошо работает с профилями.

*** X Window System (X11 или просто X) — стандартная графическая подсистема для UNIX-подобных ОС (Linux, FreeBSD), обеспечивающая отображение окон, работу мыши и клавиатуры. Она использует клиент-серверную модель, где X-сервер управляет дисплеем, а приложения-клиенты отправляют запросы на отрисовку, что позволяет за-

пускать программы удаленно по сети.

Обратите внимание, если вы используете графический сервер Wayland, то процесс работы с цветом отличается от Xorg. Поддержка ICC-профилей в Wayland зависит от конкретного графического окружения (композитора), так как сам протокол Wayland по умолчанию не управляет цветом. Базовая поддержка есть в основных оболочках и плеерах. Кроме того, пока еще не решены некоторые проблемы сервера, о них пишет разработчик ArgyllCMS на своем сайте.

Поскольку профили ICC создаются в соответствии с открытой спецификацией, они совместимы с различными операционными системами. Следовательно, профиль, созданный в одной ОС, должен работать в любой другой при наличии программного обеспечения, необходимого для цветокоррекции и преобразования гаммы. Из этого также следует, что вы можете создавать профили в любой операционной системе и переносить их в последующем на другие операционные системы, работающие с тем же монитором.

Обратите внимание, что файлы .icm идентичны файлам .icc, разница только в расширении.

Поддержка DCP

В Linux файлы DCP (DNG Camera Profile) и DNG (Digital Negative) применяются для точной цветопередачи и конвертации RAW-изображений. Так как формат DCP разработан компанией Adobe и используется в программе Photoshop (Lightroom), для работы в среде Linux требуются специальные утилиты. (Однако программу Adobe DNG Converter можно установить в Linux с помощью, например, Wine.)

Для извлечения DCP-профилей можно применить программы RawTherapee, ART. Известна консольная утилита dcamprof, она позволяет перевести параметры профиля DCP в матрицу и сгенерировать совместимый файл ICC. С помощью dcp2icc также можно конвертировать профиль из .dcp в рабочий цветовой профиль .icm, понятный большинству программ в Linux.

Поддержка DNG

DNG — это открытый формат файлов, который содержит «сырые» (RAW) данные матрицы фотоаппарата. Иногда используется как базовый формат при обработке фотографий. Например, его понимает программа DNGLab: опенсорсный инструмент, написанный на языке Rust. Программа позволяет конвертировать проприетарные RAW-файлы в файлы формата DNG без потери качества.

Консольная утилита ExifTool позволяет не только читать и изменять метаданные EXIF файлов DNG, но извлекать RAW-файл, если он был внедрен.

Файл цветового профиля монитора

Файл цветового профиля для мониторов в простейшем случае можно описать как состоящий из двух частей (более подробно см. в главе «Структура ICC-профиля»).

1. Теги VCGT/LUT, которые выполняют коррекцию точки белого.

2. Настройки гаммы, которые выполняет коррекцию гаммы, оттенка, насыщенности, и применяется отдельными приложениями с поддержкой систем управления цветом.

Настройки VCGT/LUT (если существуют) обычно загружаются при входе в систему; имя файла цветового профиля сохраняется в специальной переменной `_ICC_PROFILE`, чтобы программы с поддержкой управления цветом могли загрузить файл в качестве профиля по умолчанию для установки гаммы и внесения матричных поправок.

Некоторые программы также позволяют указать, какой именно профиль используется для цветокоррекции.

Загрузка профилей ICC в ОС Linux

Загрузчики доступны для дистрибутивов Linux, где применяются Xorg или XFree86 (два самых популярных X-сервера). Можно использовать загрузчики LUT xcalib или dispwin. В Linux можно рекомендовать использовать программу dispwin для загрузки VCGT/LUT. Эта программа — часть пакета ArgyllCMS.

Обратите внимание, некоторые инструменты устанавливают только калибровочные кривые (xcalib), некоторые только атом X.org _ICC_PROFILE (xicc), а другие способны выполнить обе задачи (dispwin).

Кроме того, хотя GNOME и KDE работают с colord, но XFCE и некоторые другие оконные менеджеры не имеют полноценной поддержки colord.

В современных дистрибутивах Linux загрузка профиля с тегом VCGT, как правило, осуществляется на начальном этапе работы операционной системы. Это делается либо с помощью systemd и загрузчика, либо в специальном файле, где вызывается загрузчик. Раньше такой файл назывался local.rc, сейчас считается устаревшим.

*** *Systemd — система инициализации и менеджер служб (демонов) в Linux, используемый в большинстве дистрибутивов (Ubuntu, Debian, CentOS, Arch). Systemd запускается*

как первый процесс (PID 1) после ядра, управляет загрузкой, параллельно запускает службы, контролирует их состояние и ведет логирование.

Переменная `_ICC_PROFILE`

Исторически в среде X11 (X.Org) цветовые профили не хранятся в настройках самой операционной системы. Вместо этого они встраиваются в виде специального свойства (атома) в память графического сервера.

Цветовой профиль активного монитора сохраняется в переменной `_ICC_PROFILE` на корневом окне X-сервера (атома).

Можно проверить, загружен ли цветовой профиль в X11, выполнив в терминале команду:

```
xprop -root | grep ICC
```

Если профиль загружен, то программы для обработки графики (например, GIMP, Darktable и др.) обращаются к X-серверу, считывают данные и корректируют цвета на лету.

Хотя в Linux нет специального пути для хранения профилей устройств, директория `/usr/share/color/icc/` стала стандартом де-факто.

**** XFree86 — исторически значимая свободная реализация оконной системы X Window System (X11) для UNIX-подобных ОС (Linux, BSD, Solaris) на архитектуре x86.*

**** Xorg (X.Org Server) — свободная реализация сервера отображения в Linux, отвечающая за работу графического интерфейса, вывод окон приложений, а также обработ-*

ку ввода с мыши и клавиатуры. Это классическая, наиболее распространенная и совместимая технология, использующая протокол X11 для взаимодействия приложений с видеодрайверами.

LUT монитора

Как уже было сказано, существует несколько способов работы с профилями, поддерживающими теги vsgt. Самый простой способ — загрузить подготовленный профиль в видеокарту на том или ином этапе работы (например, при входе в систему).

Однако допустимо создать особый профиль, который загружается в LUT монитора. В теории, этот подход должен очень хорошо работать на мониторах с полноценной поддержкой DDC, когда внутренние настройки монитора устанавливаются с помощью программного обеспечения для калибровки (и профилирования), а затем переключаются пользователем или операционной системой во время работы. К сожалению, устройства, способные выполнять внутреннюю настройку LUT монитора не распространены и, как правило, дороги. Обычно это профессиональные мониторы, иногда со встроенным колориметром. Кроме того, программное обеспечение от производителя таких мониторов редко полноценно поддерживается в ОС Linux. Пример такой программы — NEC SpectraView II.

Если монитор не поддерживает собственную загрузку LUT, физически не получится загрузить настройки, содержащиеся в профиле, подготовленном во время калибровки

и профилирования.

*** NEC SpectraView II — это профессиональное программное обеспечение от компании NEC для аппаратной калибровки и профилирования, работает только с совместимыми мониторами профессиональных серий (например, NEC SpectraView, PA-серия). Программа записывает созданный профиль напрямую в память монитора. При этом обеспечивается высокая точность, так как SpectraView II взаимодействует с 10-, 12- или 14-разрядными таблицами монитора (в зависимости от модели), что позволяет сглаживать цвета и избегать появления резких ступенчатых градиентов (бандинга). Существует версия для OS Linux.

Программы, поддерживающие управление цветом

Обратите внимание, некоторые приложения Linux могут автоматически определять профиль монитора, но другие требуют, чтобы профиль был указан вручную.

Для примера, неполный список приложений с управлением цветом в Linux, (некоторые уже устарели): darktable, digiKam, Firefox, GIMP, Geeqie, Krita, Karbon, LightZone, Opera, RawTherapee, Scribus, Siril, UFRaw, а также устаревшие CinePaint и F-Spot

Системный демон colord

В качестве системного демона сегодня по умолчанию используется colord.

Программа colord — системный сервис, который упрощает управление и установку цветовых профилей для точного управления цветом устройств ввода и вывода.

Colord активируется по запросу системы. Активация подразумевает, что она происходит только тогда, когда пользователь включает специальный режим или запускает определенный графический инструмент.

Допустим, приложение работы со сканером хочет получить правильный цветовой профиль для устройства, чтобы его можно было внедрить в выходной файл. Или пользователь желает получить профиль цифровой камеры. В этих случаях демон colord предоставляет D-Bus API для запросов, что позволяет получить профили для данного устройства или создать устройство и назначить ему какой-то профиль.

Демон colord поддерживает следующие подсистемы: XRandR (мониторы), SANE (сканеры), udev (камеры), CUPS (принтеры).

Не все проприетарные драйвера, например, от NVIDIA, совместимы с управлением цветовыми профилями. Ино-

гда приходится использовать другой драйвер (например, Nouveau) для видеокарт NVIDIA, либо маскировать colord.service (если включена поддержка systemd) и загружать профиль ICC вручную с помощью dispwin. Также в некоторых случаях запуск программы nvidia-settings перепределит настройки.

Если вы используете colord и gnome-settings-daemon, colord-kde, профиль будет загружен автоматически.

**** Linux gnome-settings-daemon (GSD) — это фоновая служба, обеспечивающая применение настроек в среде GNOME, таких как клавиатура, мышь, темы оформления, звук и параметры мониторов. Она синхронизирует конфигурацию между компонентами GNOME и приложениями, работающими в сессии.*

Не запускайте два демона с поддержкой ICC, например, gnome-settings-daemon и xiccd, одновременно. Убедитесь, что вы используете только один загрузчик ICC. В противном случае загрузчик, запущенный последним, установит свой профиль, при этом загруженные ранее настройки перезапишутся.

Обратите внимание, пакет Debian ArgyllCMS устанавливается вместе с colord, в процессе калибровки и профилирования следует сбрасывать любые предыдущие настройки командой **dispwin -c** и отключить colord на это время. Утилита dispwin, как было сказано ранее, способна загружать профили и работать в режиме демона (экспериментальном).

Свойства дисплея для фоторабот

Возможно, важным свойством хорошего фотографического дисплея следует считать широкий угол обзора. Точное профилирование бесполезно, если цвета меняются при небольшом движении головы.

И хотя очень глубокий черный цвет привлекателен, если вы смотрите фильмы, при работе с фотографией такой монитор будет вводить в заблуждении, особенно если вы занимаетесь печатью на принтере. Иными словами, монитор должен поддерживать возможность настройки контраста в широких пределах.

Для качественной цветопробы высокий контраст может быть излишним. На глянцевой бумаге печать обеспечивает коэффициент контрастности всего лишь 300:1. При этом дисплей может иметь коэффициент контрастности 800:1, 1000:1 или даже выше.

Также распространено заблуждение, что калибровка позволит добиться идеального соответствия, скажем, sRGB или Adobe RGB. После калибровки и профилирования цветовой охват останется примерно таким же, как ранее, поэтому для получения точных цветов операционная система или приложения должны учитывать созданные профили.

*** Углы обзора монитора — это максимальный угол,

под которым можно смотреть на экран без потери качества изображения, инвертирования цветов и падения контрастности. Стандартом для качественных мониторов считаются углы $178^{\circ}/178^{\circ}$ (по горизонтали и вертикали). Угол обзора зависит от матрицы, так, матрицы IPS/PLS дают максимальные углы обзора и отличную цветопередачу без искажений под любым углом; матрицы VA обеспечивают хорошие углы, но при сильном смещении в сторону цвета могут немного блекнуть. Если применяется матрица TN, то изображение темнеет или светлеет, если смотреть на экран даже под небольшим наклоном.

Необходимость системы управления цветом для фотографа

Основная цель системы управления цветом — получить хорошее соответствие между работающими с цветом устройствами. Цвета видео- и кинокартины должны выглядеть одинаково в пределах разумного на ЖК-мониторе компьютера или на плазменном телевизоре, в том случае, если устройства способны обеспечить требуемую интенсивность цвета. Для фотографа также важно, чтобы отпечатки или фотографии отображались так, как были задуманы.

С точки зрения фотографа, управление цветом необходимо внедрить на всех этапах работы с изображением — от захвата, фотографирования или сканирования фотографического негатива/слайда, до вывода на монитор или печати фотографий. Поэтому требуется выбрать не только одинаковое цветовое пространство (например, Adobe RGB) для камеры, программного обеспечения (GIMP, ImageMagick, Adobe Lightroom/Photoshop и т.д.) и монитора, но выполнить калибровку на каждом устройстве ввода/вывода, с которыми фотограф работает. Только в этом случае обеспечивается точная цветопередача, именно для этих целей фотограф использует профили ICC и программы, способные предсказуемо работать с такими профилями и конвертировать из од-

ного пространства в другое.

Зачем фотографу нужно калибровать дисплей?

Андерс Торгер дает ряд ответов в статье на своем сайте.

В типичном случае необходимость профилирования (принтера и дисплея) для фотографа возникает из желания сопоставлять отпечатки с изображением на дисплее. Иными словами, что вижу, то получается на бумаге.

В этом случае вы профилируете фотокамеру (или сканер), дисплей и принтер, чтобы получить предсказуемое поведение. Но если вы не занимаетесь печатью, а только просматриваете изображения на мониторе, стоит ли создавать профиль, что потребует от вас финансовых вложений и особых навыков?

Монитор с «широкой гаммой» нуждается в профилировании, иначе на нем будут отображаться перенасыщенные цвета, и по крайней мере придется включить режим эмуляции sRGB. Но на дисплее sRGB вы можете редактировать фотографии без профиля, при этом изображения не будут выглядеть очень неестественно.

Как правило, именно мониторы с «широкой гаммой» используют фотографы, и такие устройства часто имеют режимы эмуляции sRGB, Adobe RGB, DCI-P3 и т.д. Мониторы с поддержкой DCI-P3 и Adobe RGB охватывают более ши-

рокий диапазон цветов, чем sRGB, но по-разному. DCI-P3 оптимизирован для цифрового кино и просмотра видео на экране, делая акцент на насыщенных красных и зеленых тонах. Режим Adobe RGB больше ориентирован на зеленые и голубые оттенки, что превращает его в хороший выбор для печати.

Калибровка также не исправит все недостатки плохого монитора. Если лампы дисплея имеют желтовато-красный оттенок, вы увидите этот оттенок, независимо от того, откалиброван ли дисплей.

Как считает автор еще одной статьи, посвященной ArgyllCMS, самая большая проблема с некалиброванными дисплеями - невозможность оценить баланс белого без дополнительного устройства (колориметра), а также визуальные проблемы с контрастом и яркостью, из-за чего при редактировании фотографий можно сделать тени ярче, чем следовало. Проблемы монитора могут повлиять на цветокоррекцию, фотограф не сможет уверенно подобрать скинтон.

Итак, калибровка и профилирование не позволят идеально отобразить все цвета, поскольку это невозможно, но уменьшат количество «ошибок новичка» при работе с изображениями.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «Литрес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на Литрес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.