

рошая модель цветового восприятия может радикально улучшить корреляцию между инструментом манипуляции этими размерностями и теми изменениями, которые пользователь хочет видеть в редактируемом изображении.

19.2 УРОВНИ ЦВЕТОВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ

Роберт Хант (1970, 1995) определил шесть возможных уровней цветовоспроизведения:

1. Спектральное цветовоспроизведение

Спектральное цветовоспроизведение (spectral color reproduction) предполагает воспроизведение кривых спектрального коэффициента отражения элементов оригинального изображения или объекта. Существуют две техники, полностью справляющиеся с этой трудной задачей (но которые столь непрактичны, что представляют собой лишь историческую ценность): метод Липпмана и микродисперсионный метод (см. Хант, 1995).

Современные методы цветовоспроизведения успешно эксплуатируют явление метамерности, задействуя аддитивные смеси *RGB*-кардинальных стимулов или смеси субтрактивных кардинальных стимулов (СМУ),¹ избегая тем самым необходимости спектрального воспроизведения (за исключением случаев, при которых оригинал состоит из тех же материалов, что и его репродукция).

Отметим, что недавно разработанные, но все еще развивающиеся методы печати, задействующие шесть и более красок, гораздо ближе к спектральному воспроизведению, которое (помимо собственно расширения выходного охвата изображений) могло бы быть полезным в таких сферах как производство почтовых бланков или копировка произведений живописи.

2. Колориметрическое цветовоспроизведение

Колориметрическое цветовоспроизведение (colorimetric color reproduction) определяется метамерным соответствием репродукции оригинальному изображению, при котором оба имеют одинаковые CIE-трехстимульные значения. Итогом является воспроизведение по восприятию, но только в тех случаях, когда оригинал и его репродукция имеют одинаковый размер, окружение и рассматриваются при свете источников с одинаковыми спектральным распределением энергии и светимостью. Хант, однако, не считает равенство уровней светимости обязательным требованием колориметрического цветовоспроизведения.

¹ Здесь автор допускает серьезную неточность: кардинальными стимулами субтрактивного колориметра являются те же RGB-стимулы, тогда как СМУ-пигменты выступают в роли регуляторов их интенсивности. — *Прим. пер.*

3. Точное цветовоспроизведение

Точное цветовоспроизведение (exact color reproduction) определено как колориметрическое цветовоспроизведение при том обязательном условии, что уровни светимости у оригинала и репродукции одинаковы.

4. Эквивалентное цветовоспроизведение

Эквивалентное цветовоспроизведение (equivalent color reproduction) определено для тех ситуаций, при которых цвет освещения оригинала и репродукции различны. В таких случаях колориметрическое цветовоспроизведение по трехстимульным значениям дает некорректный результат, поскольку не учитывается хроматическая адаптация. Таким образом, эквивалентное цветовоспроизведение требует определенной коррекции трехстимульных значений и величин светимости, дабы результирующие стимулы воспринимались бы так же, как стимулы оригинала, то есть: в репродукционном аппаратно-независимом процессе какая-либо модель цветового восприятия (или хотя бы модель хроматической адаптации) обязательно должна учитывать отличия в условиях просмотра оригинала и его репродукции. Когда между оригиналом и репродукцией имеются серьезные отличия по уровню светимости, то, возможно, что перцепционного соответствия достичь и вовсе не удастся, особенно, если используется уравнивание по субъективной яркости-полноте цвета, а не по светлоте-насыщенности.

5. Согласованное цветовоспроизведение

Согласованное цветовоспроизведение (corresponding color reproduction) в определенной степени игнорирует проблему несоответствий по светимости и предполагает такое управление трехстимульными значениями, которое обеспечивает перцепционное равенство при условии того, что уровни светимости оригинала и репродукции одинаковы. Согласованное цветовоспроизведение избавляет от проблем, связанных с попыткой воспроизведения ярко освещенных оригиналов в тусклых условиях просмотра и наоборот.

О согласованном цветовоспроизведении можно говорить, как о приблизительном уравнивании по светлоте-насыщенности, но с допущением (априори некорректным), что светлота и насыщенность константны при смене уровней светимости. Поскольку светлота и насыщенность в такой ситуации намного стабильнее, чем субъективная яркость и полнота цвета, сделанное допущение не будет уж совсем неправильным, тем паче, что на практике неизбежен гамут-мэппинг.

6. Выделенное цветовоспроизведение

Выделенное цветовоспроизведение (preferred color reproduction) определено как копирование, при котором цвета репродукции отступают от перцепционного равенства с цветами оригинала во имя достижения эмоционально-впечатляющего результата. Выделенное цветовоспроизведение пригодно в основ-

ном для бытовой фотографии, когда заказчик отдает предпочтение передаче памятных объектных цветов (цвету кожи человека, растительности, неба, водной поверхности и пр.). Однако Хант (1970) отмечает то, что «концепция спектрального, колориметрического, точного, эквивалентного и согласованного уровней цветовоспроизведения подготавливает нас к разговору о сознательном искажении цветовой репродукции».

19.3 МОДИФИЦИРОВАННЫЙ НАБОР УРОВНЕЙ

Хантовские уровни дают категорийную классификацию задач цветовоспроизведения и предлагают их решение на основе концепций базовой и высшей колориметрий. Любопытно, что хантовские уровни были опубликованы задолго до того как стала обсуждаться самая идея аппаратно-независимого цветовоспроизведения (Хант, 1970). Со временем были выполнены некоторые перекомпоновки и упрощения шести хантовских принципов, в результате которых остались пять уровней цветовоспроизведения, заложивших идеологическую основу современных систем визуализации.

1. Произвольное цветовоспроизведение

Произвольное цветовоспроизведение (color reproduction¹) относится к работе примитивных устройств, способных воспроизводить простую цветную графику и изображения (к качеству которых масса претензий). В то же время, нельзя забывать, что персональные компьютеры с приемлемыми «цветовыми» способностями существуют не более 20 лет, тогда как рыночное изобилие высококачественных устройств ввода-вывода — это достижение совсем недавнего времени. Когда впервые появились технологии цифрового цветовоспроизведения, пользователи были счастливы от одного только факта, что теперь они могут «работать с цветом!». Однако «медовый месяц» быстро кончился, и потребитель начал требовать много большего от цветовоспроизводящих аппаратов — он захотел иметь устройства, которые воспроизводят и репродуцируют цветковые стимулы с возможностью дальнейшего контроля их «похожести» и точности репродуцирования в целом. Создавшаяся обстановка подтолкнула технологии открытых систем к переходу на следующие, качественно более высокие уровни цветовоспроизведения.

2. Визуально-комфортное цветовоспроизведение

Визуально-комфортное цветовоспроизведение (pleasing color reproduction) обеспечивает ощущение визуального комфорта при рассматривании изображений. Такие изображения не являются точной репродукцией оригинала, не являются высококачественными, но выглядят, что называется, «вполне прилично» и удовлетворяют запросы большинства заказчиков. Данный уровень вос-

¹ Здесь нет опечатки — уровень так и назван — color reproduction. Прилагательное «произвольное» выведено из контекста. — *Прим. пер.*

произведения часто достигается путем проб и ошибок, пренебрегая при этом общими концепциями аппаратно-независимого цветовоспроизведения. Подход, обеспечивающий визуально-комфортный уровень цветовоспроизведения, близок к идеологии закрытых систем, результат работы которых аналогичен (и только в ряде случаев, он выходит на уровень выделенного цветовоспроизведения). Визуально-комфортное цветовоспроизведение может быть вполне оправданной конечной целью деятельности системы цветовоспроизведения в тех случаях, когда наблюдатели не знакомы с оригинальной сценой или изображением и, следовательно, не ждут ничего, кроме психологически-комфортной репродукции.

3. Колориметрическое цветовоспроизведение

Колориметрическое цветовоспроизведение (colorimetric color reproduction) априори предполагает наличие предварительных калибровки и характеристики цветопроизводящих устройств — это значит, что данному аппаратному сигналу (device signal) поставлены в соответствие те или иные колориметрические координаты элемента изображения (воспроизведенного или зарегистрированного), и что дает определенную степень достоверности и точности воспроизведения.

При колориметрическом цветовоспроизведении пользователь объединяет устройства в единую систему, которая: сканирует изображение; полученные данные преобразует в колориметрические координаты (например CIE XYZ); а затем конвертирует цветовые координаты в соответствующие RGB-сигналы для показа на LCD-мониторе (или же в CMYK-сигналы для вывода на принтере).

Разумеется, нет никакой необходимости в фактической конверсии изображений через аппаратно-независимое цветовое пространство: вместо нее (дабы повысить вычислительную эффективность и минимизировать ошибки квантования) строится лишь программная схема сквозного преобразования от одного устройства через аппаратно-независимое пространство ко второму устройству.

Описанный выше принцип позволяет CIE-трехстимульным значениям оригинального изображения быть точно воспроизведенными на любом выводном устройстве, что, как мы видим, сходно с хантовским определением колориметрического цветовоспроизведения. Для получения колориметрически точной цветовой репродукции должны быть легко доступными инструментарий и методы колориметрических калибровки и характеристики входных и выводных устройств, но, несмотря на то, что рынок предлагает широкий выбор приборов и методик, востребованность колориметрического цветовоспроизведения среди обычных пользователей весьма сомнительна: к сожалению, уровень притязаний большинства пользователей сводится к банальному произвольному цветовоспроизведению. Вместе с тем, несмотря на сегодняшнюю конъюнктуру, колориметрическое цветовоспроизведение должно наконец стать широко доступным.

Колориметрическое цветовоспроизведение оправдано только тогда, когда условия просмотра оригинала и его репродукции идентичны, поскольку в этом случае трехстимульные соответствия эквивалентны соответствиям по воспри-

ятию. Когда условия просмотра различны (что чаще всего), мы должны перейти на следующий уровень — уровень цветовоспроизведения по восприятию.

4. Цветовоспроизведение по восприятию

Цветовоспроизведение по восприятию (color appearance reproduction) требует участия модели цветового восприятия в репродукционном процессе, информации об условиях просмотра оригиналов и репродукций, а также четких колориметрических калибровки и характеристики всех устройств. При цветовоспроизведении по восприятию трехстимульные значения оригинального изображения преобразуются в корреляты восприятия (светлоту, насыщенность и цветовой тон), а также задействуются данные об условиях просмотра (белая точка, светимость, окружение и пр.). Информация об условиях просмотра изображения, предназначенного к репродуцированию, используется затем для преобразования коррелятов восприятия в трехстимульные значения, которые, в свою очередь, уже необходимы выводному устройству.

Цветовоспроизведение по восприятию необходимо для учета широкого диапазона носителей и условий просмотра, характерных для того или иного устройства. Данный вид цветовоспроизведения аналогичен хантовскому эквивалентному цветовоспроизведению по светлоте-насыщенности. Отметим, что цветовоспроизведение по восприятию все еще остается сугубо коммерческим и чаще всего не востребовано обычными пользователями. Однако, даже когда воспроизведение по цветовому восприятию станет повсеместным, останутся пользователи, которым не понадобится четкого соответствия репродукций оригиналам, но при этом потребуются нечто иное, что лежит в области т.н. приоритетного цветовоспроизведения.

5. Приоритетное цветовоспроизведение

Приоритетное цветовоспроизведение (color preference reproduction) — это целенаправленная манипуляция цветовыми стимулами репродукции с целью получения результатов, предпочитаемых заказчиками, но не с целью достижения соответствия по восприятию, то есть задачей приоритетного цветовоспроизведения является получение (на данном носителе) возможно лучшей репродукции того или иного субъекта изображения. Приоритетное цветовоспроизведение аналогично хантовскому выделенному цветовоспроизведению.

Отметим, что достижение того или иного уровня воспроизведения в открытой системе требует обязательного прохождения более низких уровней. В итоге, перечисленные пять уровней цветовоспроизведения от системы визуализации требуют:

- способности воспроизводить цветовые стимулы;
- воспроизведения визуально-комфортных цветовых стимулов;
- обеспечения равенства оригинала и репродукции по трехстимульным значениям;
- обеспечения равенства по атрибутам восприятия;

— «умения» манипулировать атрибутами восприятия для «улучшения» результата.

В закрытых системах нет технологической необходимости прохождения по описанным пяти уровням: движение данных заведомо определено и контролируется на протяжении всего процесса, к примеру, в цветной фотографии все технологические параметры (чувствительность пленок, химический состав красок, процедуры обработки и методы печати) строго заданы, благодаря чему можно разработать фотопленку, предназначенную для реализации, например, визуально-комфортного или выделенного цветовоспроизведения, но — без способности к колориметрическому цветовоспроизведению или воспроизведению по цветовому восприятию (поскольку, как уже было сказано, стадии обработки и печати строго регламентированы). Аналогичные системы действуют в цветном телевидении, где все технологические параметры (чувствительность камер, обработка сигнала и настройки выводных устройств) стандартны.

В открытых системах имеет место огромное число возможных вариантов устройств ввода, обработки, отображения и вывода, которые комбинируются и совместно работают. Производитель каждой из подсистем не в состоянии предвидеть все возможные комбинации аппаратов, к которым будет подсоединено его устройство. Таким образом, единственно возможным решением является подключение к системе таких устройств, которые работая на каждом из пяти возможных уровней цветовоспроизведения, способны эстафетно передавать колориметрические данные или данные о цветовом восприятии (либо информацию для их получения) от одного устройства к другому, то есть — реализовывать процесс аппаратно-независимого цветовоспроизведения.

19.4 ОБЩАЯ СХЕМА

На рис. 19.1 дана общая схема процесса аппаратно-независимого цветовоспроизведения: наверху — оригинальное изображение, представленное неким устройством ввода (отметим, что «ввод» может исходить и от устройства отображения, например, CRT-дисплея)¹. Колориметрическая характеристика устройства ввода позволяет выполнить преобразование аппаратных координат (например RGB) в колориметрические координаты (такие как CIE XYZ или CIELAB), которые принадлежат т.н. аппаратно-независимому цветовому пространству (device-independent color space) (т.к. колориметрические координаты не зависят от какого-либо специфического устройства цветовоспроизведения).

Следующий этап: учет информации об условиях просмотра оригинального

¹ Предложение в скобках может сильно запутать начинающего специалиста, поэтому здесь требуется пояснение: цифровое изображение не всегда является результатом оцифровки физического оригинала или сцены (выполняемой с помощью сканера или цифровой фотокамеры), но иногда оно *создается* с помощью компьютера (к примеру, векторная графика). Создание изображения на компьютере приравнивается к его условному отображению условным CRT-монитором (а, вернее сказать, условным трехстимульным визуальным колориметром), таким как sRGB, Adobe RGB, Apple RGB и проч. — *Прим. пер.*