

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО НОРМАТИВНОГО ПРАВОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОЛОРИМЕТРИИ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Продолжение. Начало в журнале «Стандартизация» № 1-2012

СТАНДАРТИЗОВАННЫЕ ВИРТУАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА

Для согласования процесса передачи и воспроизведения графических данных применяют стандартизованные средства – форматы (RAW, TIFF), цветовые мишени (Pantone, GretagMachbethColorChecker, IT8.7/2, IT8.7/1 и др.) и референсные цветовые пространства – sRGB, AdobeRGB, CIE L*a*b* и CIE L*u*v* и др. [5]. Аппаратно зависимые модели (sRGB, AdobeRGB) приводят к аппаратно не зависимым, наилучшим образом отражающим механизмы зрительного восприятия цвета, принадлежащим семейству XYZ (1931) [8]: xyZ 2° (1931), HunterLab (1958), CIE YUV (1960), CIE xyY 10° (1964), CIEYuv' (1976), CIELu*v* (1976), CIE L*a*b* (1976) [5]. В полиграфии применяют пространство CIE L*a*b* [20], координаты которого рассчитывают следующим образом:

$$L^* = 116 \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}} - 16 \text{ для } \frac{Y}{Y_n} > 0,008856,$$

$$L^* = 903,3 \frac{Y}{Y_n} \text{ для } \frac{Y}{Y_n} \leq 0,008856,$$

$$a^* = 500 \left[f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \right], \quad b^* = 200 \left[f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) \right],$$

где $f\left(\frac{X}{X_n}\right) = \sqrt[3]{\frac{X}{X_n}}$ для $\frac{X}{X_n} > 0,008856$,

$$f\left(\frac{X}{X_n}\right) = 7,787 \frac{X}{X_n} + \frac{16}{116} \text{ для } \frac{X}{X_n} \leq 0,008856,$$

где X, Y, Z – координаты цвета поверхности при угловом поле наблюдения 10°;

X_n, Y_n, Z_n – координаты цвета совершенного отражающего рассеивателя при угловом поле наблюдения 10° и стандартном излучении CIE D₆₅.

Одним из недостатков CIE 1976 L*a*b* является необходимость дальнейшей коррекции изображений после преобразований RGB – L*a*b* из-за смещения в сторону пурпурных цветов [5]. Isoхроматические зоны пространства не имеют совершенно равной площади, что затрудняет колориметрические расчеты. Поэтому с этой точки зрения более удобным является пространство CIE 1976 L*u*v*, усовершенствованное Робертсом в 1990 г. и нашедшее отражение в Публикации CIE 2004 г. и ISO 11664-5. Данное пространство описывается формулами [21]:

$$L^* = 116 f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - 16, \quad u^* = 13 L^* (u' - u'_n), \quad v^* = 13 L^* (v' - v'_n),$$

где $f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) = \left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{\frac{1}{3}}$, если $\frac{Y}{Y_n} > \left(\frac{6}{29}\right)^3$,

$$f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) = \frac{841}{108} \frac{Y}{Y_n} + \frac{4}{29}, \text{ если } \frac{Y}{Y_n} \leq \left(\frac{6}{29}\right)^3,$$

$$u' = \frac{4X}{X + 15Y + 3Z}, \quad v' = \frac{9Y}{X + 15Y + 3Z},$$

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}, \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z},$$

$$\Delta(u', v') = \left[(\Delta u')^2 + (\Delta v')^2 \right]^{\frac{1}{2}};$$

где $\Delta u' = u'_i - u'_o$, $\Delta v' = v'_i - v'_o$.

Подстрочные индексы «0» означают параметр образца сравнения, «1» – испытуемого образца. Таким образом, цветовое различие ΔE_{uv}^* между двумя цветовыми стимулами рассчитывается как Евклидово расстояние между точками в пространстве ΔE_{ob}^* или ΔE_{uv}^* :

$$\Delta E_{uv}^* = \left[(\Delta L^*)^2 + (\Delta u^*)^2 + (\Delta v^*)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \text{ или}$$

$$\Delta E_{uv}^* = \left[(\Delta L^*)^2 + (\Delta C_{uv}^*)^2 + (\Delta H_{uv}^*)^2 \right]^{\frac{1}{2}}.$$

УСЛОВИЯ ВИЗУАЛЬНОГО ОТОБРАЖЕНИЯ

Условия визуального отображения. ISO 3664 устанавливает условия наблюдения [22] с использованием относительных спектральных распределений источников D₅₀ (CIEF8) и D₆₅. Чтобы определить цветовой индекс рендеринга освещения и индекс метамеризма, необходимо измерить спектральное распределение освещения с помощью спектрорадиометра в диапазоне от 300 нм до 730 нм и интервалом 5 нм для условий P1 и P2, T1 и T2, которые приведены в таблице 2.

Пять метамерических различий находятся в видимом диапазоне спектра излучения источника, другие три – в ультрафиолетовом. Нормализованная функция S_n излучения S:

$$S_n(\lambda) = \frac{100 S(\lambda)}{\sum_{400}^{700} S(\lambda) \bar{y}_{10}(\lambda) \Delta \lambda}$$

Процедура CIE устанавливает требования, которые включены в ANSICGATSTR 001-1993 для 928 цветов, опре-

Таблица 2 – Показатели освещения для различных условий отображения

Условия наблюдения	Источник ссылки		Освещенность/ яркость		Цветовой индекс рендеринга согласно CIE 13.3-1995		Индекс метамеризма согласно ISO/CIE 23603	
	Источник	Чистота цвета	Освещенность, лк	Яркость, кд/м ²	Главный индекс	Специальный индекс от 1 до 8	Видимый диапазон	УФ
Критическое сопоставление отпечатков (P1)	D ₅₀	0,005	2000 ± 500 (2000 ± 500) ^b	–	≥ 90	≥ 80	С или лучше (В или лучше)	< 1,5 (< 1) ^b
Прямой просмотр пленок (T1)	D ₅₀	0,005	–	1270 ± 320 (1270 ± 160) ^c	≥ 90	≥ 80	С или лучше (В или лучше)	–
Практическая оценка печати (P2)	D ₅₀	0,005	500 ± 125	–	≥ 90	≥ 80	С или лучше (В или лучше)	< 1,5 (< 1) ^b
Проекционный просмотр пленок (T2)	D ₅₀	0,005	–	1270 ± 320	≥ 90	≥ 80	С или лучше (В или лучше)	–
Цветные мониторы	D ₆₅	0,025	–	> 80 (> 60) ^b	неприменим в компьютерной информации		неприменим в компьютерной информации	

Таблица 3 – Цветовые различия метамеров

Лампа	CIE M _{vis} ^a	Различия метамерических образцов	
		Среднее ΔE _{ab} [*]	Максимальное ΔE _{ab} [*]
A (0,003)	1,15	0,50	1,45
B (0,005)	0,88	0,42	0,91
C (0,008)	0,97	0,59	1,33
D (0,001)	0,73	0,55	1,34
E (0,002)	0,89	0,48	1,20
F (0,007)	2,42	1,60	3,87
F 8	0,63	0,29	0,87

деленных в ISO 12641 [23]. Метамеры рассчитаны для цветов, имеющих ΔE_{ab}^{*} < 0,02. Метамерические различия для ламп представлены в таблице 3.

Метамеризм, обусловленный отображением цвета в программно-аппаратных средах («компьютерный метамеризм»), согласно ISO/CIE 23603 рассчитывается по формуле [24]:

$$N = \sum_{300}^{460} S_n(\lambda') Q(\lambda') \Delta\lambda',$$

где S_n(λ') – нормализованная функция спектрального распределения симулятора излучения для области спектра от 300 до 460 нм;

Q(λ') – спектральный состав внешнего освещения образцов.

Согласно ISO 7724 в измерениях предпочтительнее использовать модель стандартного колориметрического наблюдателя CIE 1964 г. и стандартное излучение CIE типа D₆₅. Для определения индекса метамеризма следует применять стандартное излучение CIE типа A. Принимая во внимание текстуру поверхности, выбирают один из вариантов условий освещения/наблюдения, установленных в СТБ ISO 7724-1: для гладких лакокрасочных покрытий без текстуры и с поверхностной текстурой, включающие и исключающие зеркальное отражение.

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ

В двумерных колориметрических измерениях присутствует проблема обеспечения требуемой точности и достоверности результатов, что обусловлено дефинитивной неопределенностью цвета и влиянием всех элементов измерительного канала. Данная проблема частично может быть решена путем построения условных шкал яркости в каждом цветовом канале по реперным точкам, в качестве которых могут использоваться опорные значения яркости, воспроизводимые областями на самом объекте (при статических измерениях) или источниками опорного излучения различной яркости (при динамических измерениях). В этой связи ICC, среди членов которой AdobeSystemsIncorporated, Agfa-GevaertN.V., AppleComputer, EastmanKodakCompany, FOGRA-Institute, MicrosoftCorporation, SiliconGraphicsInc., SunMicrosystems, Inc., разрабатывает спецификации для цветовых профилей. Официальный статус текущей версии – «Спецификация ICC. 1:1998-09 Формат файла для цветовых профилей», где показан циклический избыточный код алгоритма и диаграммы изображений. Данный документ, используемый в области операционного контроля цвета, активизировал деятельность комитетов ANSI/CGATS и ISO/TC 130. Для согласования Спецификаций ICC со стандартами в области отображения и измерения цвета и учета спектрального распределения освещения и геометрии пространства измерений необходима координация, а позже и пересмотр ISO 5 [25 – 28], ISO 3664 и ISO 13655 [29]. Стандарты ISO 3664 и ISO 13655 включены вчетыре части ISO 5, который является основой для оценки метрологического, цветового менеджмента и процесса контроля в графических технологиях и фотографии. Чтобы обеспечить лучшую совместимость с используемым спектрометрическим измерительным оборудованием, в стандарт дополнительно включены

условия M1, M2 и M3, определенные в ISO 13655. Они практически эквивалентны CIE D₅₀ (M1), CIE D₅₀ с UV-фильтром свечения (M2), и CIE D₅₀ с обоими UV-фильтрами свечения и поляризацией.

Поскольку цвет представляет собой величину со значительной дефинитивной неопределенностью, получение дополнительной информации о нем позволит повысить точность и достоверность колориметрических измерений. Инновации в науке, цифровой технике и технологиях приводят к необходимости пересмотра действующих стандартов различных уровней. Поэтому в настоящее время наблюдается стремительное развитие стандартизации в колориметрии высокого разрешения

как междисциплинарной области, предполагающей интеграцию направлений, связанных со стандартизацией элементов измерительного канала – первичных и вторичных излучателей, приемников светового излучения, цветовых моделей и условий колориметрических измерений. Актуальными направлениями являются обеспечение метрологической прослеживаемости и расширение динамического диапазона цветовых измерений [30].

Е. Н. САВКОВА, канд. техн. наук, доцент кафедры «Стандартизация, метрология и информационные системы», ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории оптико-электронного приборостроения Белорусского национального технического университета

ЛИТЕРАТУРА

[20] ISO 11664-4:2008 Колориметрия. Часть 4. Цветовое пространство CIE 1976 L*a*b*

[21] ISO 11664-5:2009 Колориметрия. Часть 5. Цветовое пространство CIE 1976 L*u*v* и равноконтрастный цветовой график u', v'

[22] ISO 3664:2009 Графическая технология и фотография. Условия наблюдения

[23] ISO 12641:1997 Технология полиграфии. Обмен цифровыми данными заданного формата. Цветные мишени для входной сканирующей калибровки

[24] ISO/CIE 23603:2005 Стандартный метод оценки спектрального качества имитаторов дневного света для визуальной оценки и измерения цвета

[25] ISO 5-1:2009 Фотография и графическая технология. Измерения плотности. Часть 1. Геометрия и функциональная запись

[26] ISO 5-2:2009 Фотография и графическая технология. Измерения плотности. Часть 2. Геометрические условия для измерения плотности пропускания

[27] ISO 5-3:2009 Фотография и графическая технология. Измерения плотности. Часть 3. Спектральные условия

[28] ISO 5-4:2009 Фотография и графическая технология. Измерения плотности. Часть 4. Геометрические условия для измерения плотности отражения

[29] ISO 13655:2009 Технология полиграфии. Спектральное измерение и колориметрический расчет для графических изображений

[30] Зуйков И. Е., Савкова Е. Н. Физическая и математическая модели измерения при автоматизированном контроле колориметрических характеристик объектов. Контроль, диагностика. – Москва: Изд-во «Спектр», № 1, 2010. С. 39 – 45