

Оценка и подбор цветковых пространств для цифровых систем

В.Л. ЖБАНОВА

Филиал НИУ «МЭИ» в Смоленске, Смоленск
E-mail: vera-zhbanova@yandex.ru

Аннотация

Рассмотрено влияние выбора цветкового пространства на цветовое различие контрольных цветов при работе с матричными фотоприёмниками (МФП). Спектральные характеристики МФП разных изготовителей заметно отличаются друг от друга и от функций сложения рабочей системы *RGB*, что может объяснять различие по качеству цветопередачи разных цифровых устройств. В статье предложен программный метод исследования цветопередачи изображения, получаемого цифровыми устройствами, основанный на подборе для каждого МФП индивидуального цветкового пространства. Для анализа и оценки возможностей спектральных характеристик МФП использован метод контрольных цветов на основе атласа Манселла. Проведён анализ полученных параметров 14 цветов по разным критериям для 7 цветковых пространств: *sRGB*, *AdobeRGB*, *DCI-P3 RGB*, *MINIPI*, *PAL/SECAM*, *Wide Gamut RGB*, *ProPhoto RGB*. Изучено также влияние выбора цветкового пространства на изменение координат стандартного источника света с коррелированной цветовой температурой 6500 К. Показано, что с опорой на цветковые различия контрольных цветов возможен выбор оптимального цветкового пространства для работы с конкретным МФП, что позволит снижать цветковые искажения на первичном этапе регистрации изображения. Предложены способы улучшения колориметрического метода контрольных цветов применительно к цифровым устройствам на программном уровне.

Ключевые слова: цвет, цветковое пространство, цветковое различие, цифровое устройство, матричный фотоприёмник, *RGB*.

Введение

Одним из основных электронных блоков цифровых регистрирующих устройств является многоэлементное матричное фотоприёмное устройство – матрица или матричный фотоприёмник (МФП). Именно от его характеристик во многом зависит качество получаемого изображения. Процесс цветodelения в большинстве устройств захвата изображения осуществляется самим МФП. Системы цветodelения постоянно развиваются, что требует больших материальных и временных затрат [1].

Цифровые устройства для регистрации и воспроизведения цветных изображений используют разные цветковые пространства. Разнообразие этих пространств связано с возможностями современной техники. К примеру, *ProPhoto RGB* разработано с цветковым охватом обрабатываемой фотоплёнки, *sRGB* основано на возможностях воспроизводящих систем, а *AdobeRGB* – на возможностях цифровой печати. Производители техники стараются придерживаться установленных стандартов, подгоняя характеристики под них. Так, цифровые фотокамеры с разными

спектральными характеристиками МФП используют в основном *sRGB* или *AdobeRGB* [2, 3], а искажения цвета нивелируют разными программами коррекции. При визуализации и печати исходного изображения, возникают дополнительные искажения цвета и, соответственно, отсутствие адекватной цветопередачи в готовом снимке. Именно поэтому важно получать максимально «чистый» первичный цифровой оттиск.

Передовые пользователи используют специальный формат для возможности выбора рабочего цветкового пространства – *RAW*, который содержит параметры каждого основного цвета – *R* (красный), *G* (зелёный) и *B* (синий), снятого непосредственно с МФП и не подвергнутого ни интерполяции, ни цифровой фильтрации. Далее пользователь в разных программах может задавать любую колориметрическую систему как рабочую. Обычно выбирают такие цветковые профили как *Wide Gamut RGB* и *ProPhoto RGB* – за большое тело цветкового охвата. Однако иногда лучшего результата можно добиться, применяя цветковое пространство с меньшим охватом, что связано, прежде всего, с изначальными данными по цвету, снятыми с МФП, имеющего разные спектральные характеристики каналов основных цветов.

С каждым годом предлагаются всё новые методы обработки, преобразования и улучшения изображений, получаемых цифровыми устройствами, которые являются всего лишь конечной стадией обработки [4–7]. Все усилия производителей направлены на улучшения оптики и программного обеспечения. При этом упускается влияние взаимодействия цветкового пространства с характеристиками МФП. Спектральные характеристики светофильтров системы цветodelения камер существенно отличаются как между собой, так и от кривых сложения используемой стандартной колориметрической системы.

Одним словом, проблему цветковых искажений пытаются решить поверхностно, не вдаваясь во влияние характеристик МФП.

Целью настоящей работы было исследование взаимодействия рабочих цветковых пространств с разными спектральными характеристиками МФП, а задачами – выбор и анализ спектральных характеристик МФП известных производителей (1); выбор и описание рабочих цветковых пространств (2); разработка методики исследования (3); анализ полученных результатов (4); формулировка рекомендаций по взаимодействию рабочих цветковых пространств со спектральными характеристиками МФП (5).

Представленные матричные фотоприёмники

В качестве объектов исследования были выбраны МФП трёх производителей: *Sony*, *Kodak* и *Agilent* (рис. 1) [3]. Их идеальные спектральные характеристики, можно считать, имеют плавную куполообразную форму с единичными максимумами на рабочей длине волны λ . К примеру, иде-

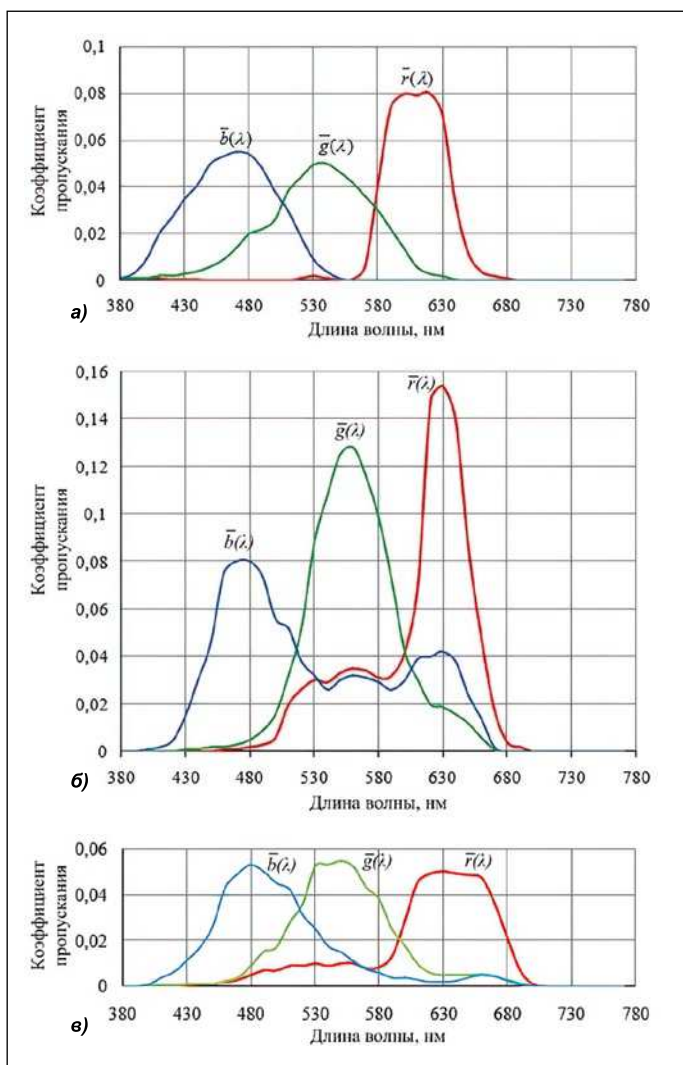


Рис. 1. Спектральные характеристики матричных фотоприёмников Sony (а), Kodak (б) и Agilent (в)

ально, когда максимум спектральной кривой по зелёному каналу приходится на λ 555 нм.

МФП Sony имеет достаточно плавные кривые без второстепенных пиков. Но кривая по зелёному каналу имеет максимум на λ 540 нм, и кривые по зелёному и синему каналам имеют довольно большие области охвата по спектру. Передача сине-зелёных оттенков цвета для человека особенно важна, т.к. в окружающей среде преобладают именно они (небо, отражение водной глади, листья, трава и т.д.). Кривой по красному каналу соответствует высокий уровень пропускания, и её пик раздвоен.

При рассмотрении спектральных характеристик МФП Kodak заметны второстепенные пики кривых по красному и синему каналам, перекрывающие друг друга. Возможно, на программном уровне производители учли подобные неоднородности системы и как-то их компенсировали. Но в исследовании будут обрабатываться оригинальные кривые.

Спектральные характеристики МФП Agilent схожи с предыдущими. Кривые по красному и синему каналам имеют не второстепенные пики, а «хвосты», заходящие в нерабочие области. Кроме того, пики всех кривых широкие и неровные, и это ухудшает рабочие свойства МФП и передачу «чистых» цветов. Этим кривым соответству-

ет низкое пропускание по сравнению с другими МФП, но т.к. далее учитывается цветность, а не цвет контрольных образцов, то уровень пропускания на результатах сказываться не должен.

Из этого следовало, что МФП Sony должно обладать наименьшими цветовыми искажениями из числа рассмотренных. Но мы вернёмся к этому предположению по окончании описания и исследования, ниже.

Исследуемые цветовые пространства

Рабочими цветовыми пространствами выбраны современные системы *sRGB*, *AdobeRGB*, *DCI-P3 RGB*, *MINIPI*, *PAL/SECAM*, *Wide Gamut RGB*, *ProPhoto RGB* [1, 2], с различным телом цветового охвата (ТЦО). При этом в основном подбирались системы с опорным белым цветом *D65*. Исключениями стали *Wide Gamut RGB*, *ProPhoto RGB* с цветом *D50*, аналогов которых по ТЦО нет.

Система *sRGB* разработана в качестве стандартной для веб- и мультимедиа-приложений. Фактически это цветовое пространство и следующее за ним – основные для всех цифровых устройств регистрации изображений.

Пространство *AdobeRGB* имеет увеличенный цветовой охват по сравнению с *sRGB*, применяясь в типографской и цифровой печати.

DCI-P3 RGB является новым цветовым пространством, имитирующим цветовую палитру киноплёнки. Эта система разработана сообществом инженеров кино и телевидения в качестве стандарта для цифровых кинотеатров. Новое пространство превосходит по цветовому охвату *sRGB* и в зелёно-жёлтой области оно меньше, а в жёлто-красной области больше, чем *Adobe RGB*. Сейчас система *DCI-P3 RGB* внедряется в смартфоны и планшеты. Но сможет ли составить достойную конкуренцию первым двум цветовым пространствам?

Система *MINIPI* разработана автором и была исследована на программном уровне и экспериментально [8, 9]. Система показала хороший результат по всем критериям, но ещё не сравнивалась с ведущими цветовыми пространствами. *MINIPI* позиционируется как цветовое пространство с максимальным цветовым охватом, но при этом с минимальными отрицательными кривыми сложения для лучшей работы с цифровыми устройствами. Система *MINIPI* имеет реальные основные цвета. При анализе стандартного источника света (СИС) *E* (с равноэнергетическим спектром излучения) доказана согласованность *MINIPI* с системой *XYZ* МКО 1931 г. Полученные спектральные характеристики (кривые) по форме превосходят современные аналоги и позволят минимизировать потери при воспроизведении цвета. Математическое моделирование и сравнение теоретических и практических кривых дали удовлетворительные результаты.

Пространство *PAL/SECAM* основано на цветностях цветообразующих стимулов, рекомендованных европейским радиовещательным видеостандартом. Является стандартом телевизионных и видеопередающих систем.

Пространство *Wide Gamut RGB* – с максимально возможным цветовым охватом (78 %), чистыми спектральными основными цветами (λ 700, 525 и 450 нм) и точкой белого цвета *D50*.

ProPhoto RGB почти полностью покрывает цветовой охват человеческого глаза, разработано для возможности

хранения фотоснимков и изображений без потери информации при недостаточности цветового охвата рабочего цветового пространства. При этом зелёный и синий цвета – мнимые. Точка белого – *D50*.

Основные цвета систем *RGB* представлены на рис. 2.

Методика расчёта цветовых параметров

Методика расчёта координат цвета контрольных цветов заключается в интегральном нахождении значений цвета объекта, освещённого источником света определённого спектра, прошедшего через регистрацию МФП с определёнными спектральными характеристиками и дальнейшего преобразование в одно из цветовых пространств, по формулам. [10, 11]

$$R' = \int_{\lambda=400\text{нм}}^{770\text{нм}} \varphi(\lambda) S_R(\lambda) \bar{r}(\lambda) r_{N,\lambda} d\lambda,$$

$$G' = \int_{\lambda=400\text{нм}}^{770\text{нм}} \varphi(\lambda) S_G(\lambda) \bar{g}(\lambda) r_{N,\lambda} d\lambda,$$

$$B' = \int_{\lambda=400\text{нм}}^{770\text{нм}} \varphi(\lambda) S_B(\lambda) \bar{b}(\lambda) r_{N,\lambda} d\lambda,$$

где $\varphi(\lambda)$ – спектральная плотность потока излучения; $S_R(\lambda)$, $S_G(\lambda)$, $S_B(\lambda)$ – спектральные характеристики МФП; $\bar{r}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$, $\bar{b}(\lambda)$ – кривые сложения цветовых пространств; $r_{N,\lambda}$ – коэффициент спектральной яркости контрольных образцов.

В данном случае будут получены координаты цвета в линейном пространстве R' , G' , B' . Чтобы представить координаты цвета в требуемом пространстве необходимо их преобразовать в нелинейное пространство *RGB*, т.е. учесть γ -преобразование, яркостное преобразование и т.д. Кроме того, при необходимости проводят и колориметрическую коррекцию. Но в данном исследовании эти этапы не проводятся, т.к. все значения координат необходимо представить в системе *XYZ*.

Далее координаты цвета преобразуются из *RGB* в *XYZ* по выражению

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_R & X_G & X_B \\ Y_R & Y_G & Y_B \\ Z_R & Z_G & Z_B \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{pmatrix},$$

где X_R , X_G , X_B , Y_R , Y_G , Y_B , Z_R , Z_G , Z_B – коэффициенты пересчёта для конкретной системы *RGB*.

Расчёт коэффициентов пересчёта каждого цветового пространства производился по методике [10, с. 236–247, 249–256]. К примеру, для пространства *PAL/SECAM* коэффициенты составили 0,514, 0,265, 0,024, 0,324, 0,670, 0,123, 0,162, 0,065, 0,853 соответственно.

После преобразования находят координаты цветности:

$$\begin{cases} x = \frac{X}{X+Y+Z}; \\ y = \frac{Y}{X+Y+Z}. \end{cases} \quad \begin{cases} u' = \frac{4x}{-2x+12y+3}; \\ v' = \frac{9y}{-2x+12y+3}. \end{cases}$$

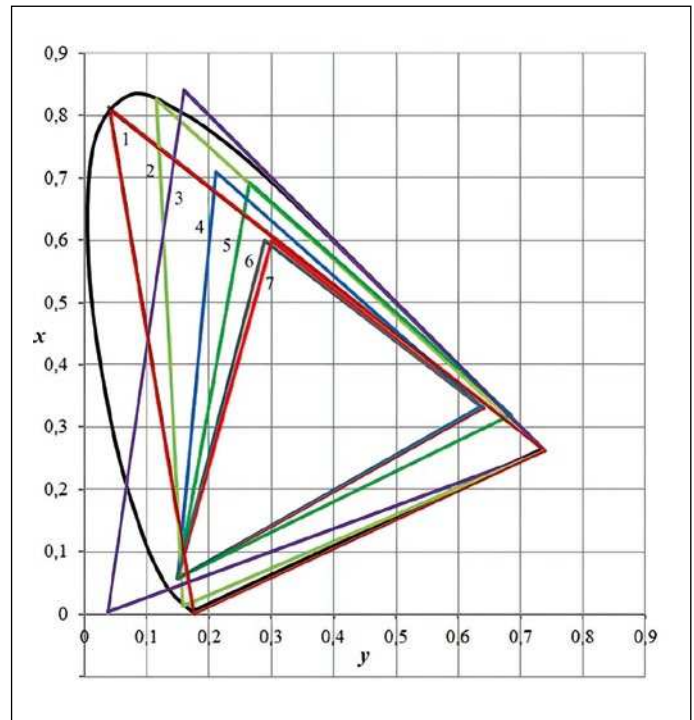


Рис. 2. Исследуемые цветовые пространства на цветовом графике *xy*: 1 – *M1N1P1*; 2 – *Wide Gamut RGB*; 3 – *ProPhoto RGB*; 4 – *AdobeRGB*; 5 – *DCI-P3 RGB*; 6 – *PAL/SECAM*; 7 – *sRGB*

Система *XYZ* не является равноконтрастной, и потому для адекватного сравнения полученных значений с теоретическими данными необходимо координаты цветности переводить в равноконтрастную колориметрическую систему, где цветовой порог различия двух цветов должен быть одинаков по всему цветовому пространству. По рекомендации МКО, возможен выбор из большого числа подобных систем: *CIEUVW*, *CIELUV*, *CIELAB* и *CIECAM* [12, 13]. Однако все они ориентированы на определение изменения цвета, а в случае подбора цветового пространства под спектральные характеристики МФП необходимо больше акцентироваться на адекватности передачи цветности. На значения координат цвета в реальной цифровой системе влияет много факторов: динамический диапазон, размер чувствительной поверхности, шумы и др. Цвет зависит от светлоты, цветность же постоянна. Поэтому, чтобы в дальнейшем можно было сравнить результаты математического исследования с экспериментальными, было решено провести анализ цветового различия по цветности на равноконтрастном графике $u'v'$ 1974 г., где, в отличие от uv 1960 г., жёлтые, оранжевые и красные цветности более сбалансированы.

Соотношение координат цветности на цветовых графиках xy и $u'v'$ определяется как

Изменение цветности определялось как евклидово расстояние в равноконтрастной области вдоль кратчайшего пути между точками цветов, т.е. расстояние, по сути, явля-

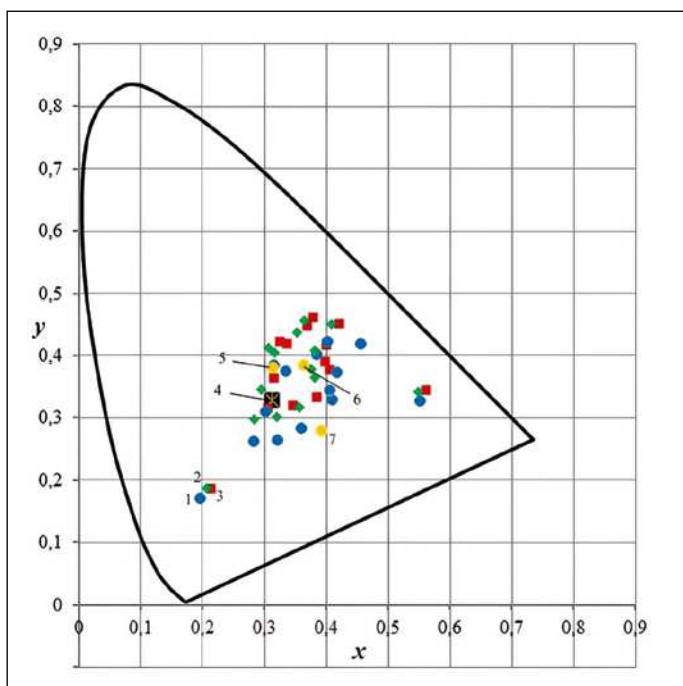


Рис. 3. Координаты цветности 14 цветов из атласа Манселла в системе XYZ: 1 – Sony; 2 – Agilent; 3 – Kodak; 4 – СИС D65; 5 – источник света Agilent; 6 – источник света Kodak; 7 – источник света Sony

ющееся длиной некоторого кривого пути между соответствующими точками цветов в пространстве МКО 1931 г.,

$$\Delta e_{u,v} = \sqrt{(u'_p - u'_t)^2 + (v'_p - v'_t)^2},$$

где u'_p, v'_p – координаты цветности, полученные при взаимодействии спектральных характеристик МФП и цветового пространства; u'_t, v'_t – координаты цветности, полученные в пространстве XYZ без влияния МФП.

В качестве излучателя был выбран СИС D65 (с КЦТ 6500 К) [14], со стандартизированным близким к полуденному дневному спектром излучения.

Контрольными образцами были выбраны 14 цветов атласа Манселла, применяемых для расчёта общего индекса цветопередачи R_a [10]. Анализировались усреднённые значения цветового различия Δe по группам образцов средней насыщенности – от № 1 до № 8, большей насыщенности – от № 9 до № 12 и специальных – № 13 (кожа лица) и № 14 (листва).

Весь алгоритм методики расчёта был реализован в среде «MATLAB». На рис. 3 представлены координаты цветности 14 контрольных цветов для исследуемых МФП при использовании пространства sRGB. Пример выходных значений координат цвета для МФП Sony из пространства sRGB представлен в табл. 1, где $\Delta x, \Delta y$ и $\Delta u', \Delta v'$ – разности между координатами цветности контрольных образцов, рассчитанных в системе XYZ без включения МФП и в системе sRGB с включением МФП, переведённые в XYZ посредством коэффициентов перехода. Согласно ГОСТ [14], значения координат цветности для СИС не должны превышать 0,01. Для МФП Sony ни одно пространство не соответствует этому требованию к СИС D65 (табл. 2 и 3).

При нахождении координат источника света в этих пространствах необходимо выполнять γ -коррекцию, возможно, в результате которой цвет будет максимально соответ-

ствовать теории. Для sRGB показатель γ не однороден по всему пространству, что усложняет подобную манипуляцию. Возможно, именно по этой причине баланс белого в цифровых устройствах происходит также по определённым контрольным цветам, а не по самому источнику. Как видно из табл. 2, лучший результат был получен для ProPhoto RGB, а худший – для sRGB. В результате программного расчёта были получены значения цветовых различий и найдены их средние значения по определённым группам образцов, представленные в табл. 3–5.

Аналогичные расчёты и преобразования производились с МФП Kodak и Agilent (табл. 3–5). В таблицах представлены усреднённые значения по трём основным группам: №№ 1–8, 9–12 и 13–14, а также усреднённое значение по всем цветам и для №№ 1–12, и в них выделены лучшие и худшие результаты вычислений.

Анализ результатов исследования

Анализ приведённых МФП и цветовых пространств проводился в рамках только данного исследования.

Для МФП Sony наилучшими цветовыми пространствам в данном исследовании явились Wide Gamut RGB и ProPhoto RGB (табл. 3), а наихудшими – sRGB и PAL/SECAM. Несмотря на то, что обе последние системы достаточно близки по координатам основных цветов, PAL/SECAM всё-таки лучше sRGB. Остальные же системы показали хороший, но не отличный результат.

Для МФП Kodak лучшими стали DCI-P3 RGB, MINIP1 и Wide Gamut RGB (табл. 4). У этих систем хорошие показатели по нескольким группам. ProPhoto RGB – худшая в применении для этого МФП, несмотря на большой свой цветовой охват. Как и следовало ожидать, худшие результаты пришлись на группу большей насыщенности. МФП имеет второстепенные максимумы в разных областях спектра, не позволяя выделить «чистый» цвет в насыщенных оттенках. Вследствие этого в Wide Gamut RGB получен хороший результат лишь по средней насыщенности. Пространства sRGB и PAL/SECAM имеют в связке с МФП Kodak как достоинства, так и недостатки, хотя лучшие показатели по источнику света именно у них.

Для МФП Agilent также можно выделить sRGB и PAL/SECAM. Приемлемые показатели у AdobeRGB, DCI-P3 RGB, MINIP1 и Wide Gamut RGB (табл. 5), а худшим оказалось пространство ProPhoto RGB, т.к. этот МФП как и МФП Kodak имеет спектральные характеристики со второстепенными максимумами.

Таким образом, чем больше второстепенных максимумов у кривой спектральной характеристики МФП, тем меньше должно быть тело цветового охвата (с большими отрицательными ветвями, которые, возможно, и компенсируют эти второстепенные максимумы).

Из табл. 6 следует, что наилучшими цветовыми пространствами можно назвать DCI-P3 RGB и MINIP1, которые, не имея особых замечаний, даже показывают некоторые лучшие результаты по всем МФП. Несмотря на это, наилучшим стал МФП Sony с рабочим цветовым пространством Wide Gamut RGB, с наименьшими цветовыми искажениями по всем группам контрольных образцов. В табл. 6 представлено, во сколько раз цветовое различие у других МФП с разными цветовыми пространствами больше, чем у МФП Sony с Wide Gamut RGB. Наихудшие результаты,

Пример цветового различия образцов для МФП Sony из пространства sRGB

Координаты цветности	Номера контрольных цветов													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Группы	Средней насыщенности								Большей насыщенности				Специальные	
Цвет	Светлый серо-красный	Серо-желтый	Жёлто-зеленый	Светло-зеленый	Светло-голубой	Светло-синий	Светло-фиолетовый	Пурпурный	Красный	Жёлтый	Зелёный	Синий	Розоватый (цвет кожи)	Зелёный (цвет листьев)
X	21,58	18,14	15,78	14,40	16,99	18,81	21,32	23,92	12,72	35,78	9,19	4,56	38,57	6,12
Y	17,30	16,20	16,51	16,07	17,25	17,32	17,47	18,74	7,49	32,64	11,20	3,94	32,49	6,37
Z	13,70	9,12	6,83	12,39	21,68	29,98	27,31	23,75	2,79	9,80	8,73	14,59	23,73	3,41
x	0,4104	0,4174	0,4035	0,3359	0,3038	0,2845	0,3226	0,3602	0,5531	0,4574	0,3155	0,1974	0,4069	0,3847
y	0,3290	0,3727	0,4220	0,3750	0,3085	0,2620	0,2642	0,2822	0,3258	0,4173	0,3845	0,1706	0,3428	0,4009
Δx	0,0129	0,0134	0,0172	0,0411	0,0375	0,0342	0,0236	0,0130	0,1159	0,0026	0,0558	0,0400	0,0145	0,0188
Δy	0,0197	0,0074	0,0365	0,0281	0,0016	0,0225	0,0379	0,0455	0,1341	0,0260	0,0328	0,0227	0,0076	0,0265
u'	0,2680	0,2515	0,2224	0,1968	0,1994	0,2041	0,2335	0,2543	0,3812	0,2580	0,1807	0,1698	0,2583	0,2185
v'	0,4832	0,5054	0,5234	0,4943	0,4556	0,4230	0,4304	0,4483	0,5052	0,5295	0,4956	0,3300	0,4897	0,5124
$\Delta u'$	0,0008	0,0123	0,0225	0,0340	0,0262	0,0178	0,0002	0,0155	0,2943	0,0093	0,0420	0,0285	0,0067	0,0207
$\Delta v'$	0,0128	0,0012	0,0105	0,0063	0,0065	0,0218	0,0324	0,0343	0,0699	0,0097	0,0060	0,0315	0,0061	0,0076
Δe	0,0128	0,0123	0,0248	0,0346	0,0270	0,0282	0,0324	0,0376	0,3025	0,0134	0,0424	0,0425	0,0090	0,0221
$\Delta e_{uv'}$	0,0262								0,1002				0,0156	

как видим, оказались у МФП *Agilent*. В целом лучшим приёмником оказался МФП *Sony* (лучшие результаты по всем показателям в сравнении с двумя другими), а лучшими цветовыми пространствами (без замечаний) *DCI-P3 RGB* и *MINIP1*. Это значит, что новая цветовая система *DCI-P3 RGB* может быть весьма конкурентоспособна с *sRGB* и *AdobeRGB*. И всё же надо продолжать разрабатывать новые цветовые пространства, т.к. и система *MINIP1* показала хороший результат и ряд преимуществ [9].

Заключение

Исследованы цветовые пространства *sRGB*, *AdobeRGB*, *DCI-P3 RGB*, *MINIP1*, *PAL/SECAM*, *Wide Gamut RGB*, *ProPhoto RGB* на базе спектральных характеристик МФП *Sony*, *Agilent*, *Kodak* для цифровых систем. Формы спектральных характеристик МФП напрямую влияют на результаты цветового разрешения. Не всегда большой цветовой охват показывает лучшие результаты, многое зависит от МФП. Но, как показали результаты исследования,

недостатки кривых спектральных характеристик МФП можно уменьшать подбором определённого рабочего цветового пространства. Это возможно предусмотреть предварительным расчётом цветового различия контрольных

Таблица 2

Набор корректирующих светофильтров

МФП Sony	Δx	Δy
<i>sRGB</i>	0,080	-0,050
<i>AdobeRGB</i>	0,027	-0,019
<i>DCI-P3 RGB</i>	0,063	-0,034
<i>PAL/SECAM</i>	0,071	-0,048
<i>MINIP1</i>	0,011	-0,053
<i>Wide gamut RGB</i>	0,030	-0,045
<i>ProPhoto RGB</i>	-0,004	-0,015

Координаты цветности образцов МФП Sony

Цветовые пространства	Усреднённое значение Δe различных групп цветов					Δe ист. света
	№№ 1–14	№№ 1–12	№№ 1–8	№№ 9–12	№№ 13 и 14	
<i>sRGB</i>	0,0458	0,0509	0,0262	0,1002	0,0156	0,0862
<i>AdobeRGB</i>	0,0361	0,0410	0,0173	0,0886	0,0065	0,0278
<i>DCI-P3 RGB</i>	0,0400	0,0443	0,0227	0,0877	0,0138	0,0626
<i>MINIPI</i>	0,0325	0,0350	0,0176	0,0699	0,0177	0,0426
<i>PAL/SECAM</i>	0,0445	0,0496	0,0249	0,0991	0,0141	0,0776
<i>Wide Gamut RGB</i>	0,0279	0,0304	0,0134	0,0643	0,0130	0,0466
<i>ProPhoto RGB</i>	0,0321	0,0367	0,0173	0,0757	0,0045	0,0095
Среднее значение	0,04	0,04	0,02	0,08	0,012	0,05

Таблица 4

Координаты цветности образцов МФП Kodak

Цветовые пространства	Усреднённое значение Δe различных групп цветов					Δe ист. света
	№№ 1–14	№№ 1–12	№№ 1–8	№№ 9–12	№№ 13 и 14	
<i>sRGB</i>	0,0588	0,0650	0,0425	0,1099	0,0218	0,0366
<i>AdobeRGB</i>	0,0653	0,0691	0,0506	0,1059	0,0426	0,0570
<i>DCI-P3 RGB</i>	0,0622	0,0665	0,0492	0,1013	0,0361	0,0440
<i>MINIPI</i>	0,0614	0,0627	0,0492	0,0895	0,0541	0,0427
<i>PAL/SECAM</i>	0,0584	0,0644	0,0420	0,1091	0,0227	0,0346
<i>Wide Gamut RGB</i>	0,0611	0,0627	0,0520	0,0840	0,0520	0,0460
<i>ProPhoto RGB</i>	0,0730	0,0752	0,0644	0,0967	0,0598	0,0743
Среднее значение	0,06	0,07	0,05	0,10	0,04	0,05

цветов. Однако методик оценки цифровых систем на программном уровне, в принципе, ещё нет. Метод контрольных цветов применим, скорее, для передающих цветных систем. А для цифровых регистрирующих устройств разработаны цветовые шкалы и миры для профилирования, что не применимо на программном уровне.

За основу методики может быть взят колориметрический метод контрольных цветов. Однако: 1) следует расширить перечень контрольных цветов (насыщенных) жёлтого, зелёного и голубого, т.к. на точное воспроизведение именно этих оттенков наиболее реагирует зрительная система человека, в сравнении с красными и синими цветами; 2) необходимо иметь как минимум по 5 разных цветов на каждый основной цвет, т.к. равноконтрастные системы, в которых находят цветовые различия, не являются идеальными, и каждая привносит свои отклонения в цветовом пороге по каждому оттенку. Важно создать такую методику, где бы учитывались недостатки систем для об-

работки результата и были подобраны контрольные цвета с определённой периодичностью, к примеру с различием на 2 или 4 тона; 3) возможен также переход на такие атласы как *Pantone* и *RAL*, которые широко применяются в полиграфии и дизайне соответственно.

Подобная методика позволит тестировать МФП ещё на стадии разработки по спектральным характеристикам, а потом уже сравнивать расчётные данные с экспериментальными результатами на реальных образцах контрольных цветов.

В дальнейшем планируется провести исследования с выборкой по 24 контрольным цветам с МФП одного производителя, имеющими разные спектральные характеристики. Это позволит, в частности, провести более детальный анализ нелинейности цветных пространств. Кроме того, будет произведён расчёт цветового различия в *CIELAB* и учтена «интенсивность» спектральных характеристик МФП.

Координаты цветности образцов МФП *Agilent*

Цветовые пространства	Усреднённое значение Δe различных групп цветов					Δe ист. света
	№№ 1–14	№№ 1–12	№№ 1–8	№№ 9–12	№№ 13 и 14	
<i>sRGB</i>	0,0557	0,0612	0,0368	0,1099	0,0232	0,0302
<i>AdobeRGB</i>	0,0653	0,0683	0,0489	0,1071	0,0473	0,0699
<i>DCI-P3 RGB</i>	0,0584	0,0621	0,0427	0,1010	0,0366	0,0493
<i>MINIP1</i>	0,0650	0,0655	0,0507	0,0950	0,0624	0,0606
<i>PAL/SECAM</i>	0,0558	0,0609	0,0367	0,1092	0,0254	0,0344
<i>Wide Gamut RGB</i>	0,0616	0,0624	0,0500	0,0872	0,0569	0,0586
<i>ProPhoto RGB</i>	0,0780	0,0799	0,0678	0,1041	0,0664	0,0848
Среднее значение	0,06	0,07	0,05	0,10	0,05	0,06

Таблица 6

Усреднённые значения по цветности МФП

Цветовое пространство	МФП	Значение Δe_{uv} по группам образцов:			Изменения Δe_{uv} относительно показателей <i>Wide Gamut RGB</i> по группам образцов:		
		средней насыщенности, №№ 1–8	большой насыщенности, №№ 9–12	№№ 13 и 14	средней насыщенности, № 1–8	большой насыщенности, № 9–12	№№ 13 и 14
<i>sRGB</i>	<i>Sony</i>	0,0262	0,1002	0,0156	1,96	1,56	1,20
	<i>Kodak</i>	0,0425	0,1099	0,0218	3,17	1,71	1,68
	<i>Agilent</i>	0,0368	0,1099	0,0232	2,75	1,71	1,78
<i>Adobe RGB</i>	<i>Sony</i>	0,0173	0,0886	0,0065	1,29	1,38	0,50
	<i>Kodak</i>	0,0506	0,1059	0,0426	3,78	1,65	3,28
	<i>Agilent</i>	0,0489	0,1071	0,0473	3,65	1,67	3,64
<i>DCI-P3 RGB</i>	<i>Sony</i>	0,0227	0,0877	0,0138	1,69	1,36	1,06
	<i>Kodak</i>	0,0492	0,1013	0,0361	3,67	1,58	2,78
	<i>Agilent</i>	0,0427	0,1010	0,0366	3,19	1,57	2,82
<i>MINIP1</i>	<i>Sony</i>	0,0176	0,0699	0,0177	1,31	1,09	1,36
	<i>Kodak</i>	0,0492	0,0895	0,0541	3,67	1,39	4,16
	<i>Agilent</i>	0,0507	0,0950	0,0624	3,78	1,48	4,80
<i>PAL/SECAM</i>	<i>Sony</i>	0,0249	0,0991	0,0141	1,86	1,54	1,08
	<i>Kodak</i>	0,0420	0,1091	0,0227	3,13	1,70	1,75
	<i>Agilent</i>	0,0367	0,1092	0,0254	2,74	1,70	1,95
<i>Wide Gamut RGB</i>	<i>Sony</i>	0,0134	0,0643	0,0130	1	1	1
	<i>Kodak</i>	0,0520	0,0840	0,0520	3,88	1,31	4,00
	<i>Agilent</i>	0,0678	0,1041	0,0664	5,06	1,62	5,11
<i>Pro Photo RGB</i>	<i>Sony</i>	0,0173	0,0757	0,0045	1,29	1,18	0,35
	<i>Kodak</i>	0,0644	0,0967	0,0598	4,81	1,50	4,60
	<i>Agilent</i>	0,0678	0,1041	0,0664	5,06	1,62	5,11

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Жбанова В.Л.* Системы цветоделения матричных фотоприёмников: монография. – Смоленск: Универсум, 2018. – 186 с. ISBN 978–5–91412–392–2.
2. *Домасев М.В., Гнатюк С.П.* Цвет, управление цветом, цветовые расчёты и измерения. – СПб.: Питер, 2009. – 224 с.
3. *Lyon R.F., Hubel P.M.* Eyeing the Camera: into the Next Century // IS&T Reporter «The window on imaging». – 2002. – Vol. 17, No. 6.
4. *Cepeda-Negrete J., Sanchez-Yanez R., Correa-Tome F., Lizarraga-Morales R.* Dark image enhancement using perceptual color transfer // IEEE Access. – 2018. – Vol. 6. – P. 14935–14945. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2763898.
5. *Ложкин Л.Д., Осипов О.В., Вороной А.А.* Цветокоррекция в трёхцветных устройствах цветообразования // Оптический журнал. – 2017. – Т. 41, № 1. – С. 88–94. DOI: 10.18287/2412–6179–2017–41–1–88–94.
6. *Gao H., Zeng W., Chen J.* An improved gray-scale transformation method for pseudo-color image enhancement // Computer Optics. – 2019. – Vol. 43, No. 1. – P. 78–82. DOI: 10.18287/2412–6179–2019–43–1–78–82.14.
7. *Канаева И.А., Болотова Ю.А.* Методы коррекции цвета и яркости при создании панорамных изображений // Оптический журнал. – 2018. – Т. 42, № 5. – С. 885–897. DOI: 10.18287/2412–6179–2018–42–5–885–897.
8. *Zhbanova V.L.* Research into methods for determining colour differences in the CIELAB uniform colour space // Light & Engineering. – 2020. – Vol. 28, No. 3. – P. 53–59.
9. *Zhbanova V.L., Parvuyusov Yu. B.* Experimental investigation of the color-separation system of photodetector array // Journal of Optical Technology. – 2019. – Vol. 86, No. 6. – P. 177–182. DOI (CrossRef): 10.1364/JOT.86.000177.
10. *Zhbanova V.L., Nubin V.V.* A method of improving colour rendition of digital photo- and videocameras // Light & Engineering. – 2014. – Vol. 22, No. 2. – P. 84–89.
11. *Кривошеев М.И., Кустарёв А.К.* Цветовые измерения. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 240 с.
12. CIE publication 116: 1995 «Industrial color difference evaluation».
13. CIE publication 135/2:1999 «Colour rendering (TC1–33 closing remarks)».
14. ГОСТ 7721–89 «Источники света для измерений цвета. Типы. Технические требования. Маркировка».



Жбанова Вера Леонидовна, кандидат техн. наук. Окончила в 2011 г. МЭИ (ТУ) по специальности «Опτικο-электронные приборы и системы». Доцент кафедры оптикоэлектронных систем филиала НИУ «МЭИ» в Смоленске. Область научных интересов: колориметрия, обработка цифровых изображений, приёмники излучения, 3D-проектирование

Решения МСК «БЛ ГРУПП» для внутреннего освещения применены на крупном приборостроительном предприятии в Смоленске

Светильники GALAD «Кайро LED» – одно из самых энергоэффективных решений «БООС ЛАЙТИНГ ГРУПП» для внутреннего освещения помещений различного назначения – установлены на производственной площадке АО «НПП «Измеритель» в Смоленске.

В ходе технического перевооружения и реконструкции сборочно-монтажного и испытательного производства потребовалось качественно изменить уровень внутреннего освещения, для чего и была выбрана продукция МСК «БЛ ГРУПП».

Ключевые особенности GALAD «Кайро LED» – высокие световой поток и световая отдача (не менее 110 лм/Вт), необходимые для решения задач освещения рабочих пространств. Высокое качество света (индекс Ra более 80) положительно влияет на эффективность труда, а надёжный стальной корпус важен с точки зрения безопасности.

bl-g.ru
26.08.2020

5 тысяч светильников со светодиодами сэкономят 15 млн бюджетных рублей

Специалисты СПб ГБУ «Ленсвет» продолжают замену оставшихся в обслуживании устаревших уличных светильников с ртутными лампами «ДРЛ» на новые со светодиодами.

С начала 2020 г. на улицах, переулках, территориях жилых массивов Петродворцового, Курортного, Выборгского (Парголово, Левашово), Пушкинского, Колпинского и Красносельского районов города установлено 5113 современных светильников со светодиодами. В Выборгском районе (в Парголово, Левашово и Осиновой роще) светильники с «ДРЛ» полностью исключены из эксплуатации. Экономное потребление электроэнергии современными светильниками до конца 2020 г., за четыре месяца, обойдётся бюджету города на 15 млн рублей дешевле. Осталось заменить 5645 единиц устаревшего осветительного оборудования.

Современные светильники практичны, экологичны, долговечны. По предварительным расчётам, вложенные в светильники со светодиодами средства окупятся за 2 года.

lensvet.spb.ru/
31.08.2020

Новая технология позволяет получать аттосекундные импульсы света при помощи обычного промышленного лазера

Группа исследователей из университета Центральной Флориды разработала новый метод, позволяющий получать импульсы света, длительность которых исчисляется аттосекундами (1 ас = 10^{-18} с), используя на входе свет, вырабатываемый обычным лазером промышленного назначения. Данное достижение открывает возможность производить фиксацию событий и делать измерения с аттосекундной точностью, что, в свою очередь, позволит учёным из самых разных областей науки изучать сверхбыстрые явления и процессы, такие, как движение электронов в атомах или молекулах в их естественных временных рамках, ведь «сцена действия на аттосекундах – это отдельные атомы, а сюжетом служит их внутренняя жизнь».



daillytechinfo.org/
02.09.2020