

Равноконтрастная трехмерная система цветовых координат

Л.Д. Ложкин

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики
443010, Россия, г. Самара
ул. Л. Толстого, 23

В данной статье приведена разработка новой равноконтрастной трехмерной цветовой системы координат. В разработанной системе координат известные эллипсы Мак Адама представляются сферами (шарами) практически равного диаметра. Такая система позволяет производить однозначную оценку двух и более цветов.

Ключевые слова: МКО, локус, система координат.

Известно, что существенным недостатком цветового пространства XYZ МКО 1931 года является то обстоятельство, что одинаковым изменениям численных координат цвета не соответствуют равнозначные изменения цветовых ощущений. Иначе говоря, разница между двумя соседними цветами, находящимися в одной области графика, будет не так ощутима, как разница между двумя соседними цветами, находящимися в другой области графика. Мак Адам провел серию опытов с целью выяснить пороги цветоразличения для разных цветов и получил интересные данные, которые четко показывают, что области порогов изменения цветности, границы которых для среднего наблюдателя соответствуют областям визуальной одинаковой цветности на графике МКО 1931 г. (x, y), имеют форму не окружностей, а эллипсов, разного размера и наклона осей. [1–3]. Эти эллипсы так и были названы в цветовидении эллипсами Мак Адама (рис. 1).

Более поздние колориметрические системы, в частности системы МКО, в какой-то степени решали эту проблему, т. е. эксцентриситеты эллипсов уменьшались, но полностью решить эту задачу не удалось.

В [4–8] исследованы некие трансформации цветового пространства МКО 1931 г. (x, y) в криволинейную цветовую равноконтрастную цветовую систему координат. В этих работах показано, что эллипсы Мак Адама в новой системе координат (α, β) практически превращаются в равновеликие окружности.

В [4–7] показано, что процесс преобразования линейного геометрического двумерного про-

странства МКО 1931 г. (x, y) в криволинейное двумерное пространство с координатами (α, β) производился с помощью тензорного преобразования геометрии Римана.

Однако нельзя забывать, что в процессе цветовосприятия участвует не только цветность, но и яркость излучения (отражения) наблюдаемого объекта. Согласно этому, очевидно, необходимо строить цветовую систему координат трехмерную, т. е. учитывать и яркость объекта. Подобные системы в настоящее время имеются, в частности, так называемая система LAB (МКО 1976 г.), имеющая трехмерную систему координат a, b и L^* , где координаты a и b составляют координаты цветности, а ордината L^* – яркость.

Яркость в системе LAB рассчитывается по формуле

$$L^* = 116 \sqrt{\frac{Y}{Y_0}} - 16, \quad (1)$$

где Y_0 – координата «белого» цвета.

Видно, что данная формула не учитывает цветность объекта при расчете яркости. Поэтому эту формулу для вычисления третьей ординаты применять нельзя. Аналогично нельзя использовать формулы для вычисления яркости, предусмотренные в других системах МКО.

При вычислении яркости спектральных цветов можно поступить следующим образом. Взяв кривую видности глаза (рис. 2) в соответствии с длиной волны спектрального цвета цветового локуса, определить относительную величину ощущения яркости по этой кривой.

Для неспектральных цветов цветового локуса, например, для цветов эллипсов Мак Ада-

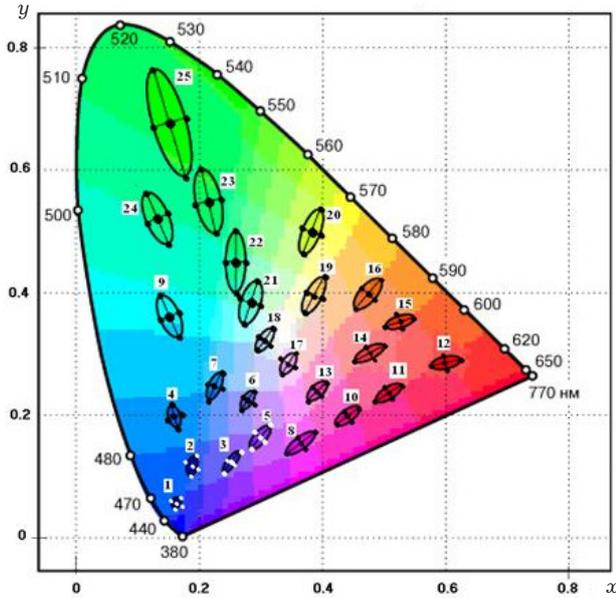


Рис. 1. Эллипсы Мак Адама в системе координат МКО 1931 г. (x,y). Для большей наглядности эллипсы увеличены в 10 раз. Эти эллипсы соответствуют пределам, границы которых для стандартного наблюдателя МКО соответствуют области визуально одинаковой цветности (автором эллипсам присвоены номера от 1 до 25)

ма, а также для построения сетки на локусе уже данный метод не может быть использован, так как насыщенность цвета внутри области локуса уменьшается.

В дальнейшем для преобразования плоского двумерного цветового пространства (x, y) системы МКО 1931 г. мной были использованы формулы, определяющие яркость конкретной цветности, предложенные Ч.Г. Постарнаком и имеющие следующий вид:

$$\begin{aligned}
 w_g &= 0.3\alpha + 0.59 + 0.11\beta, \\
 w_r &= 0.3 + \frac{0.59}{\alpha} + 0.11 \frac{\beta}{\alpha}, \\
 w_b &= 0.3 \frac{\alpha}{\beta} + \frac{0.59}{\beta} + 0.11, \\
 w &= w_g + w_r + w_b,
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

где

$$\begin{aligned}
 \alpha &= -\frac{ce - df - bU + fU + bV - cV}{\alpha_0 (cd - af - dU + fU + aV - cV)}, \\
 \beta &= -\frac{bd - ae - dU + eU + aV - bV}{\beta_0 cd - a\beta_0 f - \beta_0 dU + \beta_0 fU + a\beta_0 V - \beta_0 cV}.
 \end{aligned}$$

a, b, c, d, e, f, α_0 и β_0 – некоторые константы, соответственно равные 0.6162, 0.012, 0.216, 0.3384, 0.3846, 0.0366, 1.5561 и 1.8269.

Из (2) видно, что в этих формулах координаты цвета (цветности) выражены в системе МКО 1960 г., переход в которые из МКО 1931 г. осуществляется по известным формулам, приведенным, например, в [9]:

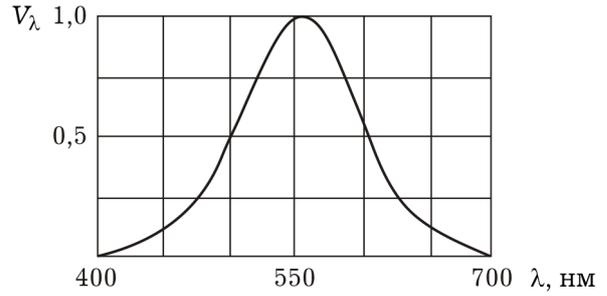


Рис. 2. Кривая видности глаза

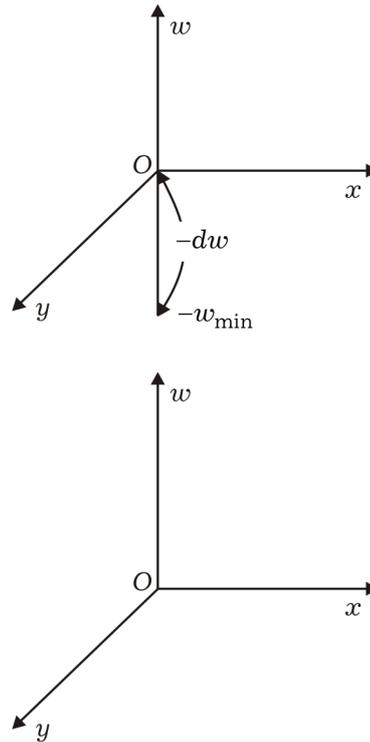


Рис. 3. Параллельный сдвиг по оси w

$$\begin{aligned}
 u &= \frac{2x}{6y - x + 1.5}, \\
 v &= \frac{3y}{6y - x + 1.5}.
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Необходимо отметить, что формулы (2) рассчитаны на цветовой треугольник экрана телеприемника, поэтому для цветностей, расположенных за границей цветового охвата экрана, например, цвета эллипсов Мак Адама, вычисленные по (2), могут иметь отрицательные яркости, что в принципе недопустимо. Данную проблему можно решить путем параллельного переноса оси яркости на величину минимальной величины яркости, что с математической точки зрения допустимо. Этот сдвиг показан на рис. 3.

Поскольку значение яркостей различных цветов меняется в достаточно широких пределах и больше единицы, то было проведено нормирование, т. е. максимальное значение яркости при-

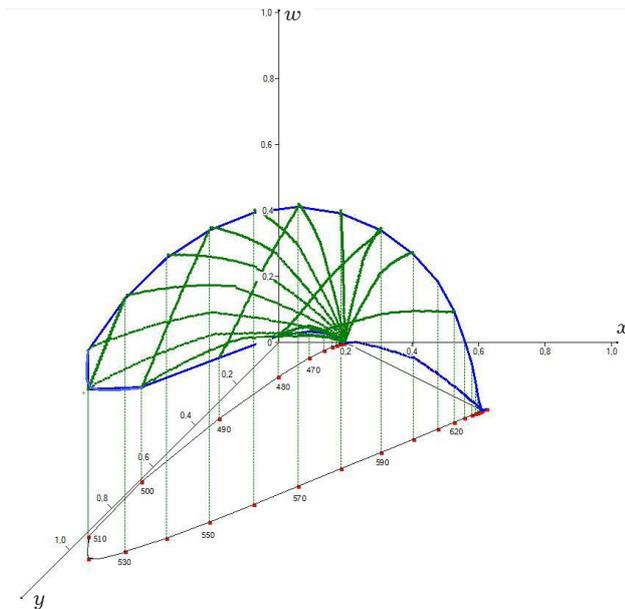


Рис. 4. Цветовой locus в трехмерной системе координат МКО 1931 г. (x , y , w)

ведено к единице, что и отражено на рис. 4, где изображен цветовой locus в трехмерной системе координат (x , y , w).

На рис. 5 можно увидеть равноконтрастное трехмерное цветовое пространство. Эллипсы здесь трансформировались практически в одинаковые шары. Для уменьшения загромождения рисунка на нем только 12 из 25 эллипсов (см. рис. 1), а для большей наглядности сферы увеличены в 2 раза по сравнению с кругами, изображенными в плоскости $\alpha\beta$. В таблице приведены результаты расчета коэффициентов уравнений, описывающие новую равноконтрастную систему координат (α , β и γ):

$$\alpha = q_1 e^{q_2 u} - \log_2(q_3 v + 1) + q_4 \log_2(q_5 w + 1),$$

$$\beta = q_6 e^{q_7 v} + \log_2(q_8 u + 1) + q_9 \log_2(q_{10} w + 1),$$

$$\gamma = q_{11} e^{q_{12} u} + \log(q_{13} v + 1) + q_{14} \log_2(q_{15} w + 1),$$

где $q_1 - q_{15}$ – некоторые постоянные коэффициенты; u , v – координаты цветности в системе МКО 1960 г., определяемые по (3); w – относительная яркость; α , β и γ – цветовые координаты в новой трехмерной равноконтрастной системе.

Из нижеприведенной таблицы видно, что отклонение равенства «эллипсов» от идеальной сферы составляет доли процента, причем максимальное отклонение всего $\pm 0.65\%$.

В заключение данной статьи можно сделать следующие выводы.

1. Существующие цветовые системы не обеспечивают в полной мере равноконтрастность цветовых и «яркостных» ощущений.

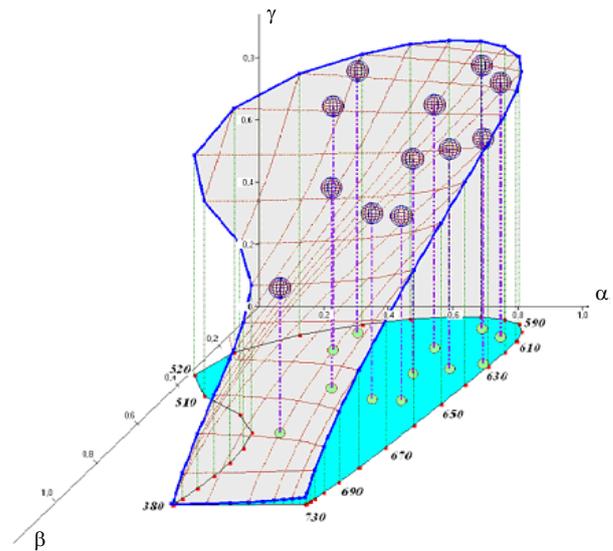


Рис. 5. Эллипсы Мак Адама в трехмерной системе координат (α , β и γ). Для наглядности диаметр шаров по сравнению с окружностями увеличен в два раза), с целью меньшего загромождения рисунка показаны только двенадцать эллипсов Мак Адама

2. Разработанная автором равноконтрастная трехмерная модель цветового восприятия, не зависящая от цветности излучения, позволяет однозначно определять цветовые различия при сравнении двух и более цветовых образцов.

3. Полученные уравнения хорошо согласуются с моделью свето- и цветовосприятия человеком.

Таблица

Результаты расчетов коэффициентов уравнений (4)

№ эллипса	Alfa0	Betta0	Gamma0	Alfa1	Betta1	Gamma1	Alfa4	Betta4	Gamma4
1	-0,5245	-633,30	139,80	-0,4326	-772,90	164,00	-0,7093	-772,90	163,96
2	-1,4178	-573,87	129,76	-1,6332	-603,78	135,03	-1,5936	-603,78	135,00
3	-0,9718	-510,68	118,65	-1,0523	-516,41	119,67	-1,0556	-516,41	119,68
4	-2,8121	-677,87	148,25	-2,8063	-719,76	155,52	-3,0541	-719,76	155,57
5	-1,1212	-512,80	119,09	-1,2649	-521,09	120,58	-1,2271	-521,09	120,58
6	-1,8144	-552,43	126,20	-1,9104	-557,51	127,11	-1,8423	-557,51	127,10
7	-2,5302	-591,55	133,20	-2,6723	-600,59	134,81	-2,5582	-600,60	134,78
8	-0,7579	-498,83	116,57	-0,6727	-495,88	116,02	-0,8528	-495,87	116,10
9	-4,3981	-702,51	153,01	-4,5558	-737,32	159,09	-4,8386	-737,32	159,18
10	-0,9202	-513,84	119,27	-0,8568	-508,74	118,36	-0,9752	-508,73	118,40
11	-1,0153	-535,53	123,10	-0,9811	-526,53	121,52	-1,0680	-526,52	121,56
12	-1,0625	-588,15	132,30	-1,0817	-577,21	130,40	-1,0858	-577,21	130,42
13	-1,3011	-535,21	123,10	-1,2475	-527,72	121,77	-1,3713	-527,72	121,82
14	-1,3432	-574,38	129,96	-1,3605	-562,95	127,97	-1,3999	-562,95	127,99
15	-1,3559	-628,08	139,31	-1,4144	-610,85	136,33	-1,4049	-610,85	136,35
16	-1,6676	-649,51	143,11	-1,7507	-653,53	143,83	-1,6147	-653,54	143,82
17	-1,8023	-564,46	128,32	-1,9367	-570,92	129,48	-1,8350	-570,92	129,46
18	-2,3174	-589,38	132,79	-2,4301	-593,60	133,55	-2,3272	-593,60	133,53
19	-2,1409	-624,40	138,86	-2,2444	-626,71	139,28	-2,1490	-626,71	139,28
20	-2,5440	-701,27	152,31	-2,7039	-699,61	152,07	-2,4997	-699,61	152,06
21	-2,8859	-620,22	138,31	-3,1184	-626,69	139,50	-2,9903	-626,69	139,47
22	-3,5184	-651,77	143,97	-3,7102	-654,73	144,53	-3,7669	-654,73	144,57
23	-4,5161	-698,92	152,44	-4,7983	-701,70	153,00	-4,8861	-701,70	153,05
24	-5,6994	-742,87	160,38	-5,7899	-776,01	166,19	-6,0470	-776,01	166,27
25	-5,8451	-766,54	164,57	-6,2383	-774,20	166,02	-6,4194	-774,20	166,11

Таблица (Продолжение)

Dr, в %	Число итераций	S Min	Alfa Max	Alfa Min	Размах Alfa	Betta Max	Betta Min	Размах Betta	W Max	W Min	Размах W
0,005	3536790	0,1155	-0,5245	-5,8450	5,3205	-498,82	-766,54	267,71	164,57	116,57	47,99
0,017	3536790	0,1155	-0,5245	-5,8450	5,3205	-498,82	-766,54	267,71	164,57	116,57	47,99
-0,011	3536790	0,1155	-0,5245	-5,8450	5,3205	-498,82	-766,54	267,71	164,57	116,57	47,99
-0,017	3536790	0,1155	-0,5245	-5,8450	5,3205	-498,82	-766,54	267,71	164,57	116,57	47,99
0,001	3536790	0,1155	-0,5245	-5,8450	5,3205	-498,82	-766,54	267,71	164,57	116,57	47,99
0,048	3536790	0,1155	-0,5245	-5,8450	5,3205	-498,82	-766,54	267,71	164,57	116,57	47,99
0,063	3536790	0,1155	-0,5245	-5,8450	5,3205	-498,82	-766,54	267,71	164,57	116,57	47,99
0,306	3536790	0,1155	-0,5245	-5,8450	5,3205	-498,82	-766,54	267,71	164,57	116,57	47,99
-0,043	3536790	0,1155	-0,5245	-5,8450	5,3205	-498,82	-766,54	267,71	164,57	116,57	47,99
0,091	3536790	0,1155	-0,5245	-5,8450	5,3205	-498,82	-766,54	267,71	164,57	116,57	47,99
0,048	3536790	0,1155	-0,5245	-5,8450	5,3205	-498,82	-766,54	267,71	164,57	116,57	47,99
0,029	3536790	0,1155	-0,5245	-5,8450	5,3205	-498,82	-766,54	267,71	164,57	116,57	47,99
0,067	3536790	0,1155	-0,5245	-5,8450	5,3205	-498,82	-766,54	267,71	164,57	116,57	47,99
0,032	3536790	0,1155	-0,5245	-5,8450	5,3205	-498,82	-766,54	267,71	164,57	116,57	47,99
0,017	3536790	0,1155	-0,5245	-5,8450	5,3205	-498,82	-766,54	267,71	164,57	116,57	47,99
0,005	3536790	0,1155	-0,5245	-5,8450	5,3205	-498,82	-766,54	267,71	164,57	116,57	47,99
0,048	3536790	0,1155	-0,5245	-5,8450	5,3205	-498,82	-766,54	267,71	164,57	116,57	47,99
0,093	3536790	0,1155	-0,5245	-5,8450	5,3205	-498,82	-766,54	267,71	164,57	116,57	47,99
0,088	3536790	0,1155	-0,5245	-5,8450	5,3205	-498,82	-766,54	267,71	164,57	116,57	47,99
0,361	3536790	0,1155	-0,5245	-5,8450	5,3205	-498,82	-766,54	267,71	164,57	116,57	47,99
0,102	3536790	0,1155	-0,5245	-5,8450	5,3205	-498,82	-766,54	267,71	164,57	116,57	47,99
-0,336	3536790	0,1155	-0,5245	-5,8450	5,3205	-498,82	-766,54	267,71	164,57	116,57	47,99
-0,652	3536790	0,1155	-0,5245	-5,8450	5,3205	-498,82	-766,54	267,71	164,57	116,57	47,99
-0,045	3536790	0,1155	-0,5245	-5,8450	5,3205	-498,82	-766,54	267,71	164,57	116,57	47,99
-0,360	3536790	0,1155	-0,5245	-5,8450	5,3205	-498,82	-766,54	267,71	164,57	116,57	47,99

Список литературы

1. Mac Adam D.L. Visual sensitivities to color differences // JOSA. 1943. V. 33. № 18.
2. Mac Adam D.L. Color essays // JOSA. 1975. V. 65. № 5. P. 463–485.
3. Mac Adam D.L. Visual Sensitivities to color differences in daylight // Optical Society of America. 1942. V. 32. № 5.
4. Scalar curvature of color space as a source of information of new uniformity aspects concerning to color representation systems / J.R. Jimener [et al.] // Optics (Paris). 1993. V. 24. № 6. P. 243–249.
5. Ложкин Л.Д. Новая цветовая система // Вестник СОНИ-ИР. 2008. № 4. С. 69–74.
6. Ложкин Л.Д. Новая равноконтрастная цветовая система // Тезисы докладов на НТК ПГУТИ, январь, 2009 г. С. 91.
7. Ложкин Л.Д. Равноконтрастное цветовое пространство и пороги цветоразличения // 7-я Международная конференция. Телевидение: передача и обработка изображений, Санкт-Петербург, 2009: труды конференции.
8. Ложкин Л.Д. Анализ и разработка систем объективной колориметрии в цветном телевидении. Самара, 2009.
9. Новаковский С.В. Цветное телевидение. Основы теории цветовоспроизведения. М.: Связь, 1975. 376 с.

Equally contrasting three-dimensional color coordinate system

L.D. Lozhkin

In given article is brought the development new three-dimensional color coordinate system. In developed coordinate system known ellipses a Poppy Adam introduce the spheres (the balls) practically equal diameter. Such system allows to produce the unambiguous estimation two and more coloures.

Keywords: ICE, locus, coordinate system.
