

彩色显示器上大色差的研究

张保洲

(北京师范大学天文系, 北京 100875)

提 要

在彩色显示器上新的主观色差评价实验表明: CIELUV 颜色空间色差公式中彩度差的权重相对于明度差的权重而言显著偏高了.

关键词 颜色测量, 色差计算.

1 引 言

国际照明委员会(CIE)在 1976 年推荐了三维均匀色空间 CIELUV 和 CIELAB 色空间^[1]. 这两个色空间,特别是 CIELUV 色空间的色差公式已被越来越多的应用领域所接受^[2,3]. 在 CIELUV 色空间中两个颜色的色差

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta u^*)^2 + (\Delta v^*)^2]^{1/2}$$

$$\text{其中颜色的明度 } L^* = 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16, \quad Y/Y_n > 0.008856$$

$$\text{坐标 } u^* = 13L^*(u' - u'_n), \quad v^* = 13L^*(v' - v'_n)$$

$$\text{而 } u' = 4X/(X + 15Y + 3Z), \quad v' = 9Y/(X + 15Y + 3Z)$$

式中 X, Y, Z 是颜色的三刺激值, 下标 n 表示光源的对应量. 只要测量出两个颜色的三刺激值就能方便地计算它们的色差.

然而, CIELUV 色空间是在视场分别为 2° 和 10° 、眼睛完全适应照明体的条件下获得的, 特别是它的建立和检验都仅是对最大至几个 NBS 色差单位的小色差色样为对象进行的. 事实上在大多数应用中特别是在彩色显示器上的应用一般色差均高达几十乃至上百个 NBS 色差单位, 而且常常不是单纯色块. 这就揭示直接应用 CIELUV 色空间并不是没有疑问的. 事实上一些研究工作已显示出用 CIELUV 来评价彩色显示器上颜色的色差与主观评价的不一致性^[4,5].

本工作的目的在于检验在彩色显示器上应用 CIELUV 色差公式的可行性, 并寻找 CIELUV 可能存在的缺陷.

2 实验的建立

实验是在一个带 $19''$ 彩色显示器的 HP 新型工作站 (HP-ux98730) 上完成的. 环境照明按一般办公室条件设置, 即桌面和显示屏上的照度分别为 500 lx 和 200 lx . 不同颜色的两个色块相邻地位于屏幕中央, 大小(对眼睛的视角)分别为 2° 和 10° (见图 1).

显示器三基色相对光谱功率分布如图 2 所示, 它们一定比例的组合构成了实验中的红、黄、绿、青、蓝、紫和白色色样, 这些色样在没有环境照明时的亮度分布大约 7 到 85 cd/m^2 之

间,背景是亮度约为 8 cd/m^2 ,色温近似 9300 K 的白色. 在环境照明条件下测得这些色样的参数列于表 1.

屏上两色样与背景置于相同的 CIELUV 色差值, 2° 视场时色差分别为 5、20、50 NBS 色差单位, 10° 视场时色差分别为 20、50、80 NBS 色差单位. 测试者的任务是按下列选择评价在显示屏上显示的每一组色样,

对背景的主观色差左边色样:

- 1) 明显大于右边色样;
- 2) 略大于右边色样;
- 3) 大致等于右边色样;
- 4) 略小于右边色样;
- 5) 明显小于右边色样

如果主观色差与 CIELUV 色差相符,则测试者对各种色样组合的选择评价都应集中于选择 3,即两边色样对背景的主观色差大致相同. 否则,用 CIELUV 色差公式来计算色差就存在缺陷.

实验程序由计算机控制. 测试者在实验前都经过纳格尔色盲仪的测试,以保证参加实验的测试者都具有正常的色视觉.

3 实验结果

40 名具有正常色视觉的年轻测试者参加了实验(其中 30 人参加了 2° 视场的实验,40 人参加了 10° 视场的实验),表 2 和表 3 分别是 2° 视场和 10° 视场的实验结果. 表中数据表明:在许多色样的组合中对具有相同 CIELUV 色差的色样视觉的主观色差感觉并不相同. 例如, 2° 视场的实验中,当蓝色色样和白色色样与背景的 CIELUV 色差均为 50 NBS 色差单位时,所有参加实验的测试者都认为白色色样的主观色差明显大于蓝色色样的主观色差;又如,在同样条件下超过 70% 的测试者认为青色色样的主观色差明显大于蓝色色样,其余测试者也认为青色色样的主观色差略大于蓝色色样.

表 4 给出了测试色样与背景的明度值差和基于测试结果归算的色样的主观色差标度. 从中可以看出:在同样 CIELUV 色差条件下,明度差值较大时主观色差感觉相应也较强. 这表明在 CIELUV 色差公式中明度差的权重偏低,亦即彩度差的权重偏高了.

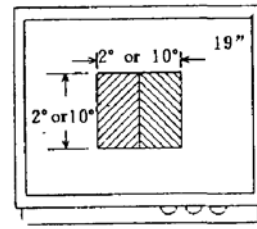


Fig. 1 Set-up for the experiments

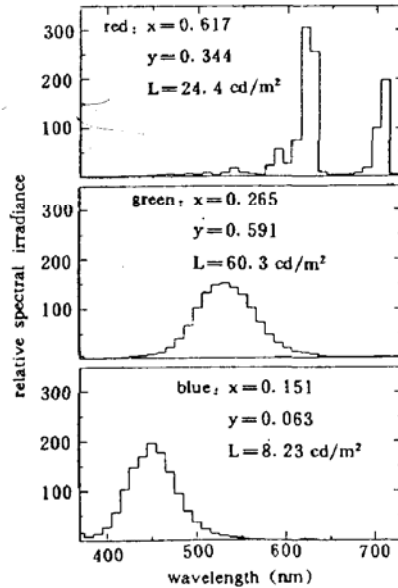


Fig. 2 Relative spectral irradiance distributions of the primary colors on the investigated screen (measured in the dark)

该工作是在德国卡尔鲁厄大学光技所(LTI)顾问 S. Kokoschka 先生指导下完成的. 在对实

验结果进行讨论和本文的成文过程中得到了郝允祥教授和郑晓东、刘宝田同志的热情指导和帮助,作者在此表示感谢.

Table 1 Investigated color coordinates and luminances

test field	CIELUV color difference	name of color	color coordinates		luminance (cd/m ²)
			<i>x</i>	<i>y</i>	
2°	5	red	0.336	0.342	18.5
		yellow	0.331	0.351	20.0
		green	0.324	0.352	19.0
		cyan	0.315	0.337	19.3
		blue	0.320	0.331	16.3
		magenta	0.326	0.330	17.6
		white	0.321	0.335	21.2
	20	red	0.351	0.333	27.3
		yellow	0.341	0.370	30.1
		green	0.315	0.373	25.5
		cyan	0.288	0.324	27.2
		blue	0.296	0.294	16.2
		magenta	0.322	0.298	21.1
		white	0.310	0.322	36.9
	50	red	0.420	0.345	24.4
		yellow	0.377	0.431	39.4
		green	0.307	0.442	30.3
		cyan	0.245	0.312	41.0
		blue	0.258	0.231	15.6
		magenta	0.320	0.250	25.7
		white	0.302	0.311	92.6
background			0.327	0.342	17.3
10°	20	red	0.350	0.332	32.0
		yellow	0.345	0.369	32.7
		green	0.319	0.371	29.7
		cyan	0.292	0.326	30.2
		blue	0.296	0.296	21.0
		magenta	0.319	0.297	25.2
		white	0.312	0.324	40.5
	50	red	0.425	0.346	26.4
		yellow	0.385	0.429	42.2
		green	0.320	0.450	32.2
		cyan	0.249	0.314	48.0
		blue	0.256	0.240	21.3
		magenta	0.312	0.252	32.6
		white	0.303	0.315	101.3
	80	red	0.473	0.350	29.7
yellow		0.411	0.469	62.3	
green		0.318	0.520	39.9	
cyan		0.225	0.307	77.5	
blue		0.220	0.189	19.0	
background			0.330	0.342	18.8

Table 2 Rating results for 2° field

CIELUV color difference	combination of colors		number of observers who evaluated the combination as category					average of evaluating	difference to (3)
	left	right	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)		
5.0	red	yellow			12	18		3.60	+0.60
	yellow	green		13	17			2.57	-0.43
	green	cyan		1	27	2		3.03	+0.03
	cyan	blue	2	26	2			2.00	-1.00
	blue	magenta		7	14	9		3.13	+0.13
	magenta	white				14	16	4.53	+1.53
	red	green		2	24	4		3.07	+0.07
	yellow	cyan		17	13			2.43	-0.57
	green	blue	5	21	4			1.97	-1.03
	cyan	magenta	2	28				1.93	-1.07
	blue	white				16	14	4.47	+1.47
	red	cyan			23	7		3.23	+0.23
	yellow	blue	8	22				1.73	-1.27
	green	magenta		24	6			2.31	-0.69
	cyan	white			2	27	1	3.97	+0.97
	red	blue	1	21	8			2.23	-0.77
	yellow	magenta	8	22				1.73	-1.27
	green	white			4	24	2	3.93	+0.93
	red	magenta	1	19	10			2.30	-0.70
	yellow	white			16	14		3.47	+0.47
red	white				25	5	4.17	+1.17	
20.0	yellow	red		3	26	1		2.93	-0.07
	green	yellow		1	15	14		3.43	+0.43
	cyan	green		18	12			2.40	-0.60
	blue	cyan				14	16	4.53	+1.53
	magenta	blue	6	22	2			1.87	-1.13
	white	magenta	25	5				1.17	-1.83
	green	red		1	20	9		3.27	+0.27
	cyan	yellow		4	22	4		3.00	0.00
	blue	green				17	13	4.43	+1.43
	magenta	cyan			8	21	1	3.77	+0.77
	white	blue	29	1				1.03	-1.97
	cyan	red		2	26	2		3.00	0.00
	blue	yellow				12	18	4.60	+1.60
	magenta	green			18	12		3.40	+0.40
	white	cyan	9	18	3			1.80	-1.20
	blue	red				14	16	4.53	+1.53
	magenta	yellow			9	20	1	3.73	+0.73
	white	green	8	22				1.73	-1.27
	magenta	red			13	17		3.57	+0.57
	white	yellow	2	28				1.93	-1.07
red	white	4	26				1.90	-1.10	
50.0	red	yellow			15	15		3.50	+0.50
	yellow	green		8	21	1		2.77	-0.23
	green	cyan			2	24	4	4.07	+1.07
	cyan	blue	22	8				1.27	-1.73
	blue	magenta			1	26	3	4.07	+1.07
	magenta	white				1	29	4.97	+1.97
	red	green		1	27	2		3.03	+0.03
	yellow	cyan			6	23	1	3.83	+0.83
	green	blue	7	22	1			1.80	-1.20
	cyan	magenta	7	23				1.97	-1.03
	blue	white					30	5.00	+2.00
	red	cyan			7	21	2	3.83	+0.83
	yellow	blue	11	19				1.63	-1.37
	green	magenta	1	6	23			2.73	-0.27
	cyan	white				8	22	4.73	+1.73
	red	blue	3	25	2			1.97	-1.03
	yellow	magenta		11	19			2.63	-0.37
	green	white				2	28	4.93	+1.93
	red	magenta		9	20	1		2.73	-0.27
	yellow	white				7	23	4.77	+1.77
red	white				2	28	4.93	+1.93	

Table 3 Rating results for 10° field

CIELUV color difference	combination of colors		number of observers who evaluated the combination as category					average of evaluating	difference to (3)	
	left	right	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)			
20.0	red	yellow		17	22	1			2.60	-0.40
	yellow	green	1	11	25	3			2.75	-0.25
	green	cyan		1	23	16			3.38	+0.38
	cyan	blue	11	28	1				1.75	-1.25
	blue	magenta		1	9	29	1		3.75	+0.75
	magenta	white			20	20			4.50	+1.50
	red	green		17	21	2			2.62	-0.38
	yellow	cyan		6	31	3			2.92	0.08
	green	blue	11	26	3				1.80	-1.20
	cyan	magenta	2	20	17	1			2.42	0.58
	blue	white				9	31		4.78	+1.78
	red	cyan		16	22	2			2.65	-0.35
	yellow	blue	18	19	3				1.62	-1.38
	green	magenta		17	21	2			2.62	-0.38
	cyan	white			2	30	8		4.15	+1.15
	red	blue	18	21	1				1.57	-1.43
	yellow	magenta	2	23	15				2.33	-0.67
	green	white			1	32	7		4.15	+1.15
	red	magenta	2	33	5				2.08	-0.92
	yellow	white			5	29	6		4.03	+1.03
red	white			10	26	4		3.85	+0.85	
50.0	yellow	red	1	17	20	2			2.58	-0.42
	green	yellow		3	23	13	1		3.30	+0.30
	cyan	green	12	28					1.70	-1.30
	blue	cyan				14	26		4.65	+1.65
	magenta	blue	11	25	4				1.82	-1.18
	white	magenta	39	1					1.02	-1.98
	green	red		6	27	7			3.02	+0.02
	cyan	yellow	2	33	5				2.02	-0.92
	blue	green			6	30	4		3.95	+0.95
	magenta	cyan				33	7		4.17	+1.17
	white	blue	40						1.60	-2.00
	cyan	red	2	34	4				2.05	-0.95
	blue	yellow			1	30	9		4.20	+1.20
	magenta	green		5	29	6			3.02	+0.02
	white	cyan	28	12					1.30	-1.70
	blue	red			4	29	7		4.08	+1.08
	magenta	yellow			27	13			3.33	+0.33
	white	green	37	3					1.07	-1.93
	magenta	red		4	31	5			3.02	+0.02
	white	yellow	36	4					1.10	-1.90
white	red	38	2					1.05	-1.95	
80.0	red	yellow		1	18	20	1		3.52	+0.52
	yellow	green	2	19	19				2.42	-0.58
	green	cyan				13	27		4.67	+1.67
	cyan	blue	39	1					1.02	-1.98
	blue	magenta				26	14		4.35	+1.35
	red	green		7	32	1			2.85	-0.15
	yellow	cyan				25	15		4.38	+1.38
	green	blue	12	28					1.70	-1.30
	cyan	magenta	26	14					1.35	-1.65
	red	cyan				21	19		4.47	+1.47
	yellow	blue	23	17					1.43	-1.57
	green	magenta		6	32	2			2.90	-0.10
	red	blue	20	20					1.50	-1.50
	yellow	magenta		26	13	1			2.38	-0.62
	red	magenta		9	27	4			2.88	-0.12

Table 4 ΔL^* of investigated color and their subjective scaling

test field	CIELUV color difference		red	yellow	green	cyan	blue	magenta	white
	2°	5	$ \Delta L^* $ scale	1.5 0.407	3.2 0.751	2.1 0.498	2.4 0.521	1.2 0.000	0.4 0.021
20		$ \Delta L^* $ scale	10.6 0.579	13.1 0.607	8.9 0.492	10.5 0.599	1.4 0.000	4.4 0.352	18.5 1.000
50		$ \Delta L^* $ scale	7.8 0.266	20.4 0.353	13.3 0.275	21.5 0.511	2.2 0.000	9.1 0.216	48.3 1.000
10°	20	$ \Delta L^* $ scale	12.9 0.673	13.5 0.575	10.9 0.482	11.4 0.550	2.5 0.000	6.8 0.310	19.3 1.000
	50	$ \Delta L^* $ scale	8.0 0.232	20.5 0.298	13.0 0.223	24.3 0.500	2.8 0.000	13.4 0.214	49.9 1.000
	80	$ \Delta L^* $ scale	10.9 0.471	32.5 0.575	18.9 0.420	40.0 1.000	0.3 0.000	18.2 0.416	

参 考 文 献

- [1] CIE, *Colorimetry* (Publication CIE No. 15. 2), second edition, Austria, Central Bureau of the CIE, 1986 : 29~30
- [2] E. C. Carter, R. C. Carter, CIEL^{*} u^{*} v^{*} color-difference equations of self-luminous displays. *Color Research and Application*, 1983, 8(4) : 252~253
- [3] D. L. Post, CIELUV/CIELAB and self-luminous displays : another perspective. *Color Research and Application*, 1984, 9(4) : 244~245
- [4] S. Kokoschka, *Bestimmung Von Farbabstanden Auf Bildschirmen im CIELUV-Farbraum*. Beleuchtung, Bildschirm und Sehen, 1989 : 42
- [5] S. Kokoschka, B. Zhang, *Experimentelle Untersuchungen des Farbabstandes Zwischen Bildschirmfarbe*, LTI Jahresbericht, Karlsruhe (Germany), 1989/1990 : 112~116

Large color differences on video displays

ZHANG Baozhou

(Department of Astronomy, Beijing Normal University, Beijing 100875)

(Received 14 April 1992; revised 27 July 1992)

Abstract

A new experiment was carried out on a modern HP-workstation with a 19" color screen under usual office lighting condition. In the middle of the screen two adjacent fields of different colors were displayed, either 2° or 10° in size. Both of the fields were fixed to the same CIELUV color difference in relation to the background of the screen at 5, 20, 50 and 80 CIELUV units respectively. The task of the observer was to evaluate these adjustments—perceived color difference of the left field is bigger than, same as, or smaller than that of the right field. The result shows that equal CIELUV color differences on displays lead to quite different subjective ratings. In particular, chroma in CIELUV system is very much overestimated.

Key words colorimetry, calculation of color difference.