

文章编号: 0253-2239(2007)02-0371-6

阴极射线管显示器特性化精度及黑点的影响^{*}

石俊生 云利军 杨 健 余鸿飞 王艳芳

(云南师范大学颜色科学与图像信息研究所, 昆明 650092)

摘要: 对 SONY G520 彩色阴极射线管显示器, 实验研究了查找表(LUT)方法的特性化精度以及特性化方程是否考虑黑点对精度的影响, 给出了 CIELAB, CIE94 和 CIEDE2000 三种色差精度: 在黑点强度较大时(CIE XYZ = 1.31/1.19/0.97), 特性化方程中考虑黑点时分别是 0.84, 0.40 和 0.42, 不考虑黑点时分别是 1.87, 0.74 和 0.76; 在黑点强度较小时(CIE XYZ = 0.08/0.10/0.12), 特性化方程中考虑黑点时分别是 0.87, 0.41 和 0.38, 不考虑黑点时分别是 1.06, 0.47 和 0.44。实验结果说明, 显示器设置在黑点强度较大的情况下, 特性化方程是否考虑黑点对特性化精度的影响较大; 而在黑点强度较小时, 特性化方程是否考虑黑点对精度的影响较小。

关键词: 色度学; 颜色特性化; 查找表方法; 黑点; 阴极射线管显示器

中图分类号: O432.3 文献标识码: A

Accuracy of Colorimetric Characterization and Effect of Black Point for CRT Monitor

Shi Junsheng Yun Lijun Yang Jian Yu Hongfei Wang Yanfang

(Institute of Color Science and Image Information, Yunnan Normal University, Kunming 650092)

Abstract: The accuracy of colorimetric characterization using the look-up table (LUT) method and effect of the black point were studied, and experiments were performed on a colorful CRT monitors of SONY G520. The experimental accuracy of characterization is presented as three kinds of color difference units of CIELAB, CIE94 and CIEDE2000: (1) 0.84, 0.40 and 0.42 at considering the black point, and 1.87, 0.74 and 0.76 at not considering one in the characterization equation when the intensity of the black point is larger (i. e. CIE XYZ = 1.31/1.19/0.97 in experiments); (2) 0.87, 0.41 and 0.38 at considering the black point, and 1.06, 0.47 and 0.44 at not considering one when the intensity of the black point is smaller (CIE XYZ = 0.08/0.10/0.12). This result denotes that whether the effect of the black point should be considered in the characterization equation is related to the intensity of the black point. When the intensity is stronger (weaker) its effect on the accuracy of colorimetric characterization is larger (smaller).

Key words: colorimetry; colorimetric characterization; look-up table (LUT) method; black point; CRT monitor

1 引 言

近年来, 一些定量的人眼特性、色貌与图貌视觉实验, 包括人眼衬比度敏感测量、色差公式评价、色貌模型评价、图像质量评价和图像感知差模型评价等都是在阴极射线管(CRT)显示器上进行的^[1~4]。除了阴极射线管显示器使用的普遍性外, 另外一个原因是, 控制阴极射线管显示器实现想要的颜色或色差要比一般光学方法更容易、更精确^[4]。在阴极射线管显示器上做较精确的视觉实验, 必须对阴极射线管显示器进行颜色特性化, 实现精确预测或控

制颜色。不同的视觉实验对特性化精度要求不同, 而且不同的显示器或不同的特性化方法有不同的精度。普遍采用的方法从简单的 γ 校正方法, 到两种较高精度的查找表(look-up table, LUT)方法和 GOG(Gain-offset-gamma)模型^[5~8]。

关于阴极射线管特性化精度。Berns 对查找表方法、GOG 模型以及简单的 γ 校正方法的精度做了比较, 给出的精度依次为 0.42, 0.54 和 2.17 CIELAB 色差单位^[7]。Cui 和 Luo 等在色差评价中, 采用 GOG 模型的精度是 0.47 CIELAB 色差单

^{*} 国家自然科学基金(60368001)和云南省科技厅(2004A0027M)和教育厅自然科学基金(03Y318D)资助课题。

作者简介: 石俊生(1960—), 男, 内蒙古人, 教授, 硕士生导师, 主要从事颜色科学与技术、图像视觉方面的研究工作。

E-mail: shi-js@263.net

收稿日期: 2006-03-31; 收到修改稿日期: 2006-05-26

位^[3]; Johnson 和 Fairchild 在图像色貌评价实验中^[4], 精度是 0.5 CIE94 色差单位。Katoh 等对 1 台 Apple 16" Monitor、1 台 Sony GDM-2036 和 2 台 Sony GDM-2000TC 采用 GOG 模型对特性化精度依次为 1.90, 0.97, 0.83, 0.63 CIELAB 色差单位^[9]。一个普遍认可的结果是, 采用 GOG 模型的特性化精度在 1.0 CIELAB 色差单位范围内^[9]。在国内, 廖宁放等采用人工神经网络特性化方法, 对普通的 EMC PV-850D 显示器特性化精度只有 1.51 CIELUV 色差单位^[10~12]。最近在颜色评价实验中, 杨卫平等采用人工神经网络特性化方法, 对三星 SyncMaster 20GLs 阴极射线管显示器特性化精度只有 4.55 CIELUV 色差单位^[13]。王勇和徐海松在确定显示器色域实验中, 给出的阴极射线管的特性化精度为平均 0.836 和最大 1.523 CIELAB 色差单位^[14]。由以上结果看出: (1) 查找表方法比 GOG 模型的精度稍高一些, 但差别不大; (2) 两种模型的最好精度大约在 0.5 CIELAB 色差单位, 一般应该在 1.0 CIELAB 色差单位以下; (3) 同一种方法的特性化精度与显示器类型有较大关系, 而且对两台同类型显示器的特性化精度也有明显差距; (4) 国内大部分研究还没有达到国际水平, 王勇和徐海松的报道虽达到国际平均水平, 但没有给出详细的特性化方法及过程; (5) 没有专门给出 CIE94 和最新的 CIEDE2000 色差精度。

关于黑点对特性化精度的影响(黑点是指三通道数字量同时为 0)。黄丽琼和汤顺青在 1996 年实验研究了黑点对三通道独立性的影响, 提出消除黑点的方法^[15]。但指出, 实际操作中完全消除黑点是非常困难的、甚至是不可能的, 建议在特性化阴极射线管时将黑点的因素考虑在内便可提高精度。Berns 在 1996 研究查找表方法、GOG 模型以及简单的 γ 校正方法的精度时, 特性化方程中考虑了黑点的影响。王勇和徐海松在确定显示器色域实验中给出的阴极射线管的特性化精度也是考虑黑点的影响。以上文献都没有给出是否考虑黑点对特性化精度产生影响的程度。

本文选择了精度较高的查找表方法, 对性能较好的 Sony Trinitron G520 21" 显示器做实验研究, 实验给出包括新色差在内的 CIELAB、CIE94 和 CIEDE2000 三种色差 ΔE_{ab}^* , ΔE_{94} 和 ΔE_{00} 精度, 以及特性化方程是否考虑黑点对精度的影响程度。为国内在阴极射线管显示器上做视觉实验研究者提供参考。

2 阴极射线管特性化方法

阴极射线管显示器特性化包括两个步骤: 一是由显示器三个通道显示的数字量得到电子枪产生亮度的非线性过程; 二是由三个电子枪亮度得到色度, 即荧光粉线性加色过程。特性化方程如(1)式所示:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{r,\max} & X_{g,\max} & X_{b,\max} \\ Y_{r,\max} & Y_{g,\max} & Y_{b,\max} \\ Z_{r,\max} & Z_{g,\max} & Z_{b,\max} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}, \quad (1)$$

其中线性矩阵中的 9 个元素是显示器红、绿和蓝三个通道数字量单独最大时分别显示颜色的 CIE XYZ, 采用色度计或光谱辐射度计 3 次测量得到。R、G 和 B 是归一化亮度, 即显示器三通道任意数字量时, 每个通道数字量单独产生的亮度与该通道最大亮度之比, 如方程(2)所示:

$$\begin{aligned} R &= \frac{L_r}{L_{r,\max}} = \left[k_{g,r} \left(\frac{d_r}{2^N - 1} \right) + k_{o,r} \right]^{\gamma_r}, \\ G &= \frac{L_g}{L_{g,\max}} = \left[k_{g,g} \left(\frac{d_g}{2^N - 1} \right) + k_{o,g} \right]^{\gamma_g}, \\ B &= \frac{L_b}{L_{b,\max}} = \left[k_{g,b} \left(\frac{d_b}{2^N - 1} \right) + k_{o,b} \right]^{\gamma_b}, \end{aligned} \quad (2)$$

其中 d_r, d_g, d_b 是显示器三通道数字量, N 是显示卡模拟-数字转换的比特数, 一般 $N = 8$ 。

在高精度特性化显示器时, 必须考虑显示器内部相邻像素间产生的相互反射(inter-reflections flare)和显示器屏幕对周围环境光产生的反射(ambient flare)^[7], 特性化方程如(3)所示:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{r,\max} & X_{g,\max} & X_{b,\max} \\ Y_{r,\max} & Y_{g,\max} & Y_{b,\max} \\ Z_{r,\max} & Z_{g,\max} & Z_{b,\max} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{inter reflections flare}} + \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{ambient flare}}. \quad (3)$$

查找表方法通过仪器测量建立方程(2)中每个通道的数字量 d_r, d_g, d_b 与对应的归一化亮度 R、G、B 的对应关系, 即查找表(LUT)。一般在 0~255 区间取 0, 16, 32, 48, 64, 80, 96, 112, 128, 144, 160, 176, 192, 208, 224, 240, 255 共 17 个点, 采取线性插值方法可以得到每个数字量对应的归一化亮度。一种方法是采用亮度计对每个通道单独测量, 这样, 三个通道总共需要 51 次测量。另一种方法是采用色度计或光谱辐射度计, 对三个通道的数字量相同的 17 点中性色测量, 在方程(1)中 9 个矩阵元素已经测量的条件下, 利用方程(2)可以得到每个通道的查找表。第 2 种方法有一个明显的优点,

建立三通道的查找表总共只需要 17 次测量,另外对通道间的相互影响也是一种间接考虑。

GOG 模型是通过亮度计测量每个通道至少 2 个点数字量对应的归一化亮度,方程(2)采用回归方法求出显示系统的增益(gain)、偏置(offset)和伽马(gamma)特性三个待定参量 k_g, k_o, γ 。测量点越多特性化精度越高,一般采用 5 个点较为合适^[5~7]。

本实验采用查找表方法,即采用色度计对三个通道的数字量相同的 17 点中性色测量。实验虽然在暗室进行,但由于显示器本身发光,仍然存在周围环境光,方程(3)右边第三项仍然不能忽略,实验采用的特性化方程如(4)所示:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{r,\max} & X_{g,\max} & X_{b,\max} \\ Y_{r,\max} & Y_{g,\max} & Y_{b,\max} \\ Z_{r,\max} & Z_{g,\max} & Z_{b,\max} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{black-point measurement}} \quad (4)$$

其中,方程(4)右边第二项是显示器在黑点时测量得到的 XYZ 值。相应地,在建立查找表时,采用方程(5):

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{black-point measurement}} = \begin{bmatrix} X_{r,\max} & X_{g,\max} & X_{b,\max} \\ Y_{r,\max} & Y_{g,\max} & Y_{b,\max} \\ Z_{r,\max} & Z_{g,\max} & Z_{b,\max} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (5)$$

可以看出,当 $d_r = d_g = d_b = 0$ 时,方程(4)右边第一项为零。这样不仅使在黑点时测量结果与特性化方程(4)预测结果一致,而且使方程(4)右边第二项成为真正的黑点,即 $d_r = d_g = d_b = 0$ 时显示值。这个值不仅包含了显示器电子枪在驱动电压为零时荧光粉产生的强度,而且也包含了在黑点显示状态下内部相邻像素间产生的相互反射和显示器屏幕对周围环境光产生的反射的影响。

3 实 验

3.1 实验器材及实验条件

1) 阴极射线管显示器: SONY G520 21", 频率 75 Hz, 实验设置分辨率 768×1024。大约使用 4500 h, 效果基本保持新机状态。

2) 显卡: GeGorce 2 MX/MX 400, 显存数字化位数 $N=8$ 。

3) 屏幕亮度计(photometer): 北京师范大学光电仪器厂生产, 型号 ST-86LA, 测量范围 0.01~19990 cd/m^2 , 精度 $\pm 0.5\%$ 。

4) 屏幕色度计(colorimeter): 美国 X-Rite 公司 Color Monitor optimizer。

大小为 8 cm×8 cm 的中性灰块位于显示器中央, 背景为相应实验采用显示器白场设置最大亮度的 20% 中性灰, 实验在墙壁是标准灰的暗室进行。下面所有计算色差采用的参考白场都是采用 D65 光源 2° 观察者标准数据: $X_n = 95.017, Y_n = 100, Z_n = 108.813$ 。

3.2 显示器及色度计系统的重复性

精度为 $1\Delta E_{ab}^*$ 以下或更小时, 特性化过程中任何一个环节都会产生该数量级的误差。所以, 在研究阴极射线管显示器特性化精度问题时, 首先进行了如下实验: (1) 显示器从开机到稳定需要的时间; (2) 显示器及色度计的重复性。色度计的重复性受到显示器稳定性的影响, 两者是作为一个系统来说的; (3) 色度计测量精度。

1) 显示器从开机到稳定需要的时间。实验方法是将显示器设置在最大亮度 100 cd/m^2 和 D65 白场, 实验使用屏幕亮度计对 $d_r = d_g = d_b = 255$ 白点亮度, 在一个星期内间隔两天, 每次开机后第 2 min、10 min、30 min、60 min、120 min、180 min、240 min、360 min、480 min、600 min 进行三次测量。不同天的相同时刻点的亮度平均值如表 1 所示。从表 1 可以看出, 要达到目前国际上特性化精度, 该显示器需要 2 h 的开机稳定时间。下面的所有实验, 都是在显示器开机达到稳定后进行的。

表 1 显示器开机后白场亮度随时间的变化

Table 1 Luminance variation of CRT monitor with time from turn-on

Time /min	Luminance /(cd/m^2)	Time /min	Luminance /(cd/m^2)
2	112.02	120	99.99
10	109.73	180	99.95
30	103.55	240	100.12
60	100.62	360	100.01

2) 显示器及色度计的重复性。我们在实验中发现, 同天或隔天开机相同时间达到稳定后, 亮度计和色度计测量白场的结果有明显变化。为此, 实验对“短、中、长期”重复性做了测量。“短期”是指显示器达到稳定后连续不关机; “中期”是指一个月左右, 显示器不同的开机状态; “长期”应该指 2 年以上, 而这里仅仅给出了 1 年左右的测量结果。实验对美国 Macbeth 公司 Colour Checker 的 24 块的三刺激值作为显示颜色进行测量^[16], 每块测量三次。表 2 给出 24 块颜色 ΔE_{ab}^* 、 ΔE_{94} 和 ΔE_{00} 三种色差的平均偏差、最大和最小偏差。偏差是指每次测量离开平均值的绝对值。

表 2 显示器及色度计短、中和长期重复标准误差

Table 2 Repeatability with standard deviation of CRT monitor and instrument in short, medium and long terms

	ΔE_{ab}^* , ΔE_{94} and ΔE_{00}								
	Short-term			Mediumterm			Long-term		
Mean deviation	0.0846	0.0841	0.1102	0.1550	0.1464	0.1586	0.2610	0.2489	0.2572
Maximal deviation	0.1872	0.1865	0.2679	0.2245	0.2078	0.2862	0.3312	0.3045	0.3833
Minimal deviation	0.0164	0.0163	0.0215	0.0273	0.0243	0.0288	0.0287	0.0265	0.0264

3) 色度计测量精度。对显示器短期测量数据处理得到色度计在 CIEY_{xy} 和 CIELAB 色空间每个色度坐标的测量精度,如表 3 所示。

表 3 色度计测量精度

Table 3 Accuracy with standard deviation of the colorimeter

	ΔY	Δx	Δy	ΔL^*	Δa^*	Δb^*
Mean deviation	0.0492	0.0001	0.0001	0.0243	0.0659	0.0325
Maximal deviation	0.1033	0.0002	0.0003	0.0611	0.0580	0.0778
Minimal deviation	0.0133	0.0000	0.0000	0.0026	0.0006	0.0005

实验结果显示:1) 显示器需要 2 h 后达到研究特性化精度实验所需要的稳定;2) 色度计的测量精度:亮度 Y 精度在 ± 0.05 , 色度 x 和 y 精度在 ± 0.002 ;3) 显示器及色度计短、中、长期重复精度分别是 0.08, 0.15, 0.26 ΔE_{ab}^* , 对于目前最高的 0.5 ΔE_{ab}^* 特性化精度来说,短期研究更精确。下面查找表特性化精度与黑点影响的实验都是在短期进行的。

3.3 查找表特性化精度及黑点的影响

1) 实验方法:实验使用色度计首先对方程(4)中 9 个矩阵元素测量,然后采用 17 点中性色测量方

法建立查找表,采用(1)和(4)两个特性化方程研究黑点对特性化精度的影响。为了使黑点强度较大和较小,实验采用两种显示器设置:设置 1 和设置 2 分别对应黑点强度较大和较小。

设置 1:三通道整体“衬比度”为 100,“亮度”为 100,调节每个通道的衬比度与亮度设置,使白场最大亮度接近 100 cd/m²,色度接近 D65。实测结果是:亮度为 100.47 cd/m²,白场色度(x, y)为(0.3121, 0.3291),黑点强度(X, Y, Z)为(1.31, 1.19, 0.97)。表 4 给出了 17 个中性点 CIEXYZ 原始测量值以及由方程(5)得到的三通道归一化查找表。

表 4 测量 17 中性点 CIE XYZ 值以及方程(5)得到三通道归一化查找表

Table 4 CIE XYZ measured for 17 points and LUTs for three channels

Digital counts	XYZ measured			LUT for three channels			
	$d_r d_g d_b$	X	Y	Z	R	G	B
0	0	1.31	1.19	0.97	0	0	0
16	16	2.37	2.23	1.91	0.0134	0.0095	0.0085
32	32	3.89	3.75	3.34	0.0320	0.0238	0.0214
48	48	5.91	5.84	5.40	0.0553	0.0443	0.0402
64	64	8.54	8.57	8.17	0.0850	0.0711	0.0655
80	80	11.63	11.90	11.53	0.1182	0.1053	0.0961
96	96	15.44	15.95	15.76	0.1593	0.1463	0.1349
112	112	19.93	20.71	20.80	0.2077	0.1943	0.1812
128	128	25.23	26.37	26.84	0.2639	0.2518	0.2367
144	144	31.15	32.69	33.68	0.3263	0.3161	0.2997
160	160	37.83	39.80	41.49	0.3966	0.3882	0.3718
176	176	45.30	47.75	50.20	0.4753	0.4688	0.4522
192	192	53.67	56.62	60.09	0.5633	0.5584	0.5437
208	208	62.69	66.35	70.88	0.6557	0.6585	0.6434
224	224	73.01	76.95	83.23	0.7674	0.7618	0.7586
240	240	83.94	88.61	96.03	0.8820	0.8804	0.8767
255	255	95.16	100.47	109.34	1.0000	1.0000	1.0000

设置 2:三通道整体“衬比度”为 90,“亮度”为 40,调节每个通道的衬比度与亮度设置,使白场最大亮度接近 60 cd/m^2 ,色度接近 D65。实测结果是:亮度为 60.43 cd/m^2 ,白场色度(x, y)为(0.3124, 0.3287),黑点强度(X, Y, Z)为(0.08, 0.10, 0.12)。

2)测试样本:测试样品选择阴极射线管色域 xy 平面上均匀分布的 15 个点,如图 1 所示。亮度因子 Y 取值在 30, 40, 50, 60, 70, 80 共得到 48 个点(因为在一些亮度因子上取不到 15 个点)。

3)实验结果:对 48 块测试样本采用查找表方法预测与色度计测量,然后计算它们之间的平均色差、方差、最大值和最小值,实验结果列在表 5 和表 6 中。其中表 5 对应设置 1,表 6 对应设置 2;表中(a)中是考

虑黑点时采用方程(4)的特性化精度,(b)是不考虑黑点时采用方程(1)的特性化精度。

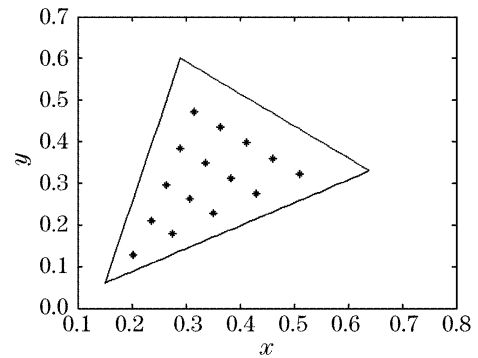


图 1 测试样本在显示器色域均匀取点
Fig. 1 Distributions of test samples in the CRT monitor color gamut

表 5 在黑点强度较大时,考虑与不考虑黑点时特性化精度

Table 5 Performance of the characterization accuracy when considering or not considering black point with certain intensity

Color difference	(a) Considering black point			(b) Not considering black point		
	ΔE_{ab}^*	ΔE_{94}	ΔE_{00}	ΔE_{ab}^*	ΔE_{94}	ΔE_{00}
Mean	0.8382	0.3983	0.4192	1.8673	0.7393	0.7610
Deviation	0.4442	0.1747	0.2320	0.8833	0.2445	0.2619
Maximum	1.8457	0.6774	1.0153	3.2989	1.1704	1.1679
Minimum	0.1894	0.1522	0.1314	0.4329	0.2938	0.2944

表 6 在黑点强度较小时,考虑与不考虑黑点时特性化精度

Table 6 Performance of the characterization accuracy when considering or no considering black point with ignorable intensity

Color difference	(a) Considering black point			(b) Not considering black point		
	ΔE_{ab}^*	ΔE_{94}	ΔE_{00}	ΔE_{ab}^*	ΔE_{94}	ΔE_{00}
Mean	0.8683	0.4099	0.3820	1.0640	0.4699	0.4417
Deviation	0.4147	0.1288	0.1155	0.5113	0.1313	0.1201
Maximum	1.7846	0.7331	0.6672	1.9898	0.8153	0.7431
Minimum	0.1919	0.1866	0.1806	0.2241	0.2056	0.2019

实验结果显示,在显示器设置 1,即在黑点强度较大时,特性化方程考虑黑点时平均精度是 0.8382 ΔE_{ab}^* ,而不考虑黑点时平均精度是 1.8673 ΔE_{ab}^* ;在显示器设置 2,即在黑点强度较小时,考虑黑点时平均精度是 0.8683 ΔE_{ab}^* ,而不考虑黑点时平均精度为 1.0640 ΔE_{ab}^* 。

4 结论与讨论

本文实验研究了 SONY G520 21" 阴极射线管显示器查找表特性化方法的精度,及特性化方程是否考虑黑点对精度的影响,给出了查找表方法在 CIE ΔE_{ab}^* , ΔE_{94} 和 ΔE_{00} 三种色差的特性化精度。在特性化方程中考虑黑点时分别是 0.84 ± 0.44 , 0.40 ± 0.17 , 0.42 ± 0.23 ;不考虑黑点时分别是 1.87 ± 0.88 , 0.74 ± 0.24 , 0.76 ± 0.26 。实验结果说明,在黑点强度较大时,是否考虑黑点对特性化精度的影响较大;

而在黑点强度较小时,是否考虑黑点对特性化精度的影响不大。

本实验达到的平均精度是 0.84 ΔE_{ab}^* ,与国内王勇和徐海松给出的平均精度 0.836 ΔE_{ab}^* 相似,与目前国际最好水平 0.5 ΔE_{ab}^* 稍有差距,但已非常接近。与最近 Johnson 和 Fairchild 给出的 0.5 ΔE_{94} 比较^[4],本实验 0.4 ΔE_{94} 结果已经达到较高水平。当然,这些精度还与选择的测试样本有关。CIELAB 色差公式适合大色差计算,而 CIE94 色差公式和新色差公式 CIEDE2000 适合小色差计算^[17],用 CIE94 或 CIEDE2000 给出阴极射线管特性化精度更准确些。

关于特性化方程中是否考虑黑点的问题,如果显示器设置在黑点强度不是很小的情况下,考虑与不考虑黑点对特性化精度的影响较大。一般显示器设置在高亮度时,黑点强度不会很小。所以,如果没有仪器测量黑点强度,可以采用设置黑点强度很小的方法

设置显示器,如一般精度的 γ 校正特性化方法。

在阴极射线管显示器使用中,一般普遍认为开机40 min后达到稳定。但进行 $0.5 \Delta E_{ab}^*$ 这样精度的实验,稳定时间需要2 h左右。

以上结果都是对本实验使用的显示器得到的,不同的显示器是有差别的。

参 考 文 献

- 1 Klára Wenzel, Károly Ladunga, Krisztián Samu. Measurement of color defective and normal color vision subjects' color and luminance contrast threshold functions on CRT[J]. *Periodica Polytechnica Ser. Mech. Eng.*, 2001, **45**(1): 103~108
- 2 Marcus Nadenau. Integration of human colour vision models into high quality image compression[D]. Signal Processing Laboratory, Swiss Federal Institute of Technology, Switzerland, 2000, 1~216
- 3 Guihua Cui, M. R. Luo, B. Rigg *et al.*. Colour-difference evaluation using CRT colours. part I; data gathering and testing colour difference formulae[J]. *Col. Res. Appl.*, 2001, **26**(5): 394~402
- 4 Garrett M. Johnson, Mark D. Fairchild. Measuring images: differences, quality, and appearance[C]. *Proc. SPIE*, 2003, **5007**: 51~60
- 5 R. S. Berns, R. J. Motta, M. E. Gorzynski. CRT colorimetry. part I; theory and practice[J]. *Col. Res. Appl.*, 1993, **18**(5): 299~314
- 6 R. S. Berns, M. E. Gorzynski, R. J. Motta. CRT colorimetry. Part II; Metrology[J]. *Col. Res. Appl.*, 1993, **18**(5): 315~325
- 7 R. S. Berns. Methods for characterizing CRT displays[J]. *Displays*, 1996, **16**(4): 173~182
- 8 CIE Publications 122-1996, The Relationship between Digital and Colorimetric Data for Computer Controlled CRT Displays [M]. <http://www.cie.co.at/publ/abst/122-96.html>
- 9 N. Katoh, K. Nakabayashi, M. Ito *et al.*. Effect of ambient light on color appearance of softcopy images; mixed chromatic adaptation for self-luminous displays[J]. *J. Electronic Imaging*, 1998, **7**(4): 794~806
- 10 Liao Ningfang, Gao Zhiyun. A comparative study of a CRT colorimetric prediction model by neural networks and the models by conventional method[J]. *Color Res. Appl.*, 1999, **24**(1): 45~51
- 11 Liao Ningfang, Shi Junsheng, Yu Hongfei *et al.*. Digital CRT color control by artificial neural networks[J]. *Acta Armamentarii*, 1998, **19**(1): 46~50 (in Chinese)
廖宁放,石俊生,余鸿飞等. 基于神经网络的数字式CRT色度控制方法[J]. *兵工学报*, 1998, **19**(1): 46~50
- 12 Liao Ningfang, Shi Junsheng, Zeng Hua *et al.*. Analysis of interactive errors in conventional CRT colorimetric prediction models[J]. *Acta Optica Sinica*, 2000, **20**(1): 133~138 (in Chinese)
廖宁放,石俊生,曾华等. 传统CRT色度预测模型的相干误差分析[J]. *光学学报*, 2000, **20**(1): 133~138
- 13 Yang Weiping, Liao Ningfang, Huang Qingmei *et al.*. A new method of cathode-ray tube characterization based on Munsell system[J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(8): 1039~1044 (in Chinese)
杨卫平,廖宁放,黄庆梅等. 基于孟塞尔系统的阴极射线管特性化新方法[J]. *光学学报*, 2004, **24**(8): 1039~1044
- 14 Yong Wang, Haisong Xu. Determination of CRT color gamut boundary in perceptual color space[C]. *Proc. SPIE*, 2005, **5637**: 332~338
- 15 Huang Liqiong, Tang Shunqing. The influence of black point on colorimetric characterizations when producing desired colors on CRT monitors[J]. *Opt. Technol.*, 1996, (5): 11~14 (in Chinese)
黄丽琼,汤顺青. CRT颜色再现中的“黑点”对CRT色度特性的影响[J]. *光学技术*, 1996, (5): 11~14
- 16 <http://www.tayole.com/Html/product/2005621164143.html>
- 17 S. Y. Zhu, M. R. Luo, G. H. Cui. New experimental data for investigating uniform colour space[C]. *Proc. SPIE*, 2002, **4421**: 626~629