

电脑色卡的颜色再现及其色度分析

金 秋

(广西大学)

摘 要

本文首先介绍了为实现电脑色卡所做的一些实验。经过对屏幕亮度及色度均匀性的测量,给出了实验装置带来的误差。通过对每一块色卡的测量,给出了颜色复现的精度。并从心理物理学的角度,对电脑色卡及Munsell色卡进行了分析、对比,给出了定性的结论。

一 引 言

人类生活的空间是一个充满颜色信息的空间。因此,完全有必要对周围世界如此纷繁复杂的颜色进行规范和序列化处理。色卡,就是把颜色有序系统的全部或者限定的部分作合理的、序列的、规范的编排,并且选择一套物质色来具体实现的。色卡是一种标准。

鉴于色卡具有以上的特点及用途,国际上一些先进的工业国家都有自己研制的色卡。象普及较广的美国的孟塞尔颜色系统(the Munsell Color System)及中欧较为流行的DIN颜色系统,还有最近发展起来的美国光学协会均匀颜色标尺系统(OSA—UCS, the Optical Society of America—Uniform Color Scales),瑞典的自然色系统(the Natural Color System)和日本研制的色彩世界5000(Chroma Cosmos 5000)。

但是,至今所做的色卡都是将有限的几种颜料或油漆涂覆在底板上而制成的,这种色卡必然存在易氧化变色,使用寿命短,保管条件苛刻、颜色品种有限、排列方式单调等缺点,而电脑色卡是用微型计算机和彩色监视器来再现颜色。由于彩色监视器本身为一发光体,所以,观察这样的色卡不需要外界照明,简化了观测条件,而且这样的色卡还具有亮度高,显色快、寿命长、系列多、编排快、易检索、使用方便等优点。它还可以将任何色卡系统的数据资料储存起来,并随时按需要进行提取显示,还可以在其上编排自己的色卡。

从以上的论述中,我们可以看出研制电脑色卡是具有十分重要的意义的,而本文所叙及的内容恰是实现电脑色卡所不可缺少的。

二、利用微型计算机和彩色监视器复现颜色

1. 白场的调制

在彩色监视器上影响颜色复现的因素很多。由于一旦参照白和三基色被确定，理论的光谱曲线就可确定，所以，白场与基色可以说是较主要的因素。

由于目前彩色电视显象端按6500k调白已成为国际上统一的规范，因此，在我们所用的彩色监视器上，决定按 D_{65} 调白。

在我们的实验中，彩色监视器用国产金星24°彩色电视，测色仪器用美制1980彩色亮度计。经标定，其修正系数为：

$$C_1 = 1.074 \quad C_2 = 0.536 \quad C_3 = 1.104$$

校准电压为： $V = 0.49V$

白场的调制结果如下：

$$Y = 7.73 \quad X_r = 5.55 \quad Z = 7.62 \quad X_b = 2.60 \quad \text{代入修正系数，算得其色座标为：}$$

$$x = 0.3130 \quad y = 0.3290$$

与 D_{65} 的标准色座标($x = 0.3127, y = 0.3290$)之间的色度差为： $\Delta x = 0.0003$

$$\Delta y = 0.0000$$

2. R、G、B与X、Y、Z的相互转换

彩色电视所选定的红(R)、绿(G)、蓝(B)三原色荧光粉在色度图上的色度点形成一个三角形，三角形内的颜色都应该能够复现出来，三角形外的颜色不能被复现。这样，为了知道该彩色电视机的色域，以了解其能够复现颜色的范围，必须对其三基色进行测量。

在得到白场后，分别打开R、G、B三路，测得其相应的三刺激值及色座标分别为：

$$\text{红色：} Y = 16.02 \times 10^{-1}, X_r = 2.87, X_b = 4.41 \times 10^{-2}, Z = 14.65 \times 10^{-2}$$

$$\text{利用修正系数，得其色座标为：} x_r = 0.6378, y_r = 0.3290 \quad \text{蓝色：} Y = 6.86 \times 10^{-1},$$

$$X_r = 9.04 \times 10^{-2}, X_b = 2.66, Z = 7.36$$

$$\text{其色座标为：} x_b = 0.1474, y_b = 0.0664,$$

$$\text{绿色：} Y = 6.11, X_r = 3.11, X_b = 2.12 \times 10^{-1}, Z = 9.93 \times 10^{-1}$$

$$\text{其色座标为：} x_g = 0.3240, y_g = 0.5732$$

根据色度学知识，我们知道，对于同一个颜色，相对于两组不同的三原色组，将有不同的三刺激值和色度座标。CIE颜色系统是用一组(X)、(Y)、(Z)三原色来表示颜色的系统。在彩色电视中是用一组(R)、(G)、(B)三原色来表示颜色的系统。要想在彩色电视上复现某一颜色，就要知道该颜色在此颜色系统中的三刺激值和色度座标。而通常的颜色是用CIE色度系统中的三刺激值和色度座标来表示的，所以需要知道这两个颜色系统间的转换关系。

前面我们已经得到对应每一通路的三刺激值为：

	(X)	(Y)	(Z)
(R)	3.1060	1.6020	0.1465
(G)	3.4538	6.110	0.9930
(B)	1.5228	0.6860	7.36

所以，转换矩阵为：

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3.1060 & 3.4538 & 1.5228 \\ 1.6020 & 6.110 & 0.6860 \\ 0.1465 & -0.993 & 7.36 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (1)$$

根据系数矩阵中的第二行，可求出亮度方程中的系数分别为： $a_R = 0.1908$ ， $a_G = 0.7276$ ， $a_B = 0.0817$ 。

所以，亮度方程为：

$$Y = 0.1908R + 0.7276G + 0.0817B$$

由矩阵(1)我们可得其逆矩阵为：

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.4508 & -0.2434 & -0.0706 \\ -0.1190 & 0.2304 & 0.0031 \\ 0.0071 & -0.0262 & 0.1369 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \quad (2)$$

在彩色电视的颜色复现中，对于任何一个在CIE色度学系统中已知X、Y、Z三刺激值的颜色，如果要在电视屏上用(R)、(G)、(B)三原色复现这一颜色，只需代入(2)式便可得出线性接收机上所应有的R、G、B的信号强度。

3. 显象管的r校正

显象管荧光粉的发光强度和注入电压不成线性关系，而是成r次方的指数关系。如果在显象终端所需的三色度值为R、G、B，对应的施加在R、G、B三通路上的电压分别为 V_R 、 V_G 、 V_B ，它们之间适合下列：

$$Y_R = V_R^{rR} \quad Y_G = V_G^{rG} \quad Y_B = V_B^{rB}$$

$$\text{即,} \quad V_R = Y_R^{1/rR} \quad V_G = Y_G^{1/rG} \quad V_B = Y_B^{1/rB}$$

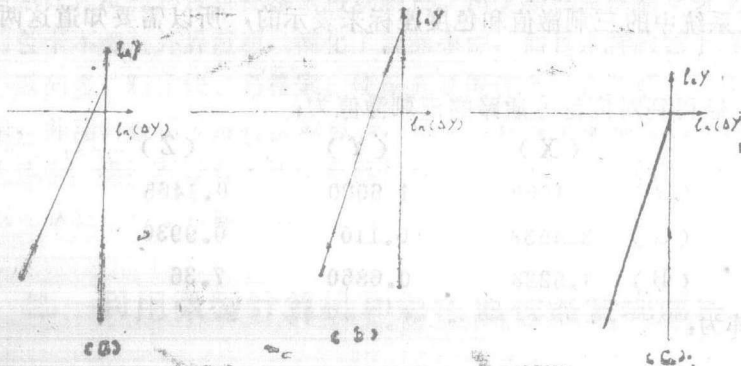
把上式两边取对数，得：

$$\ln Y_R = rR \ln V_R, \quad \ln Y_G = rG \ln V_G, \quad \ln Y_B = rB \ln V_B$$

经实验测量，我们得到R、G、B三通路对应某电压值的亮度值(见表一)。

根据表一中的值，我们可画出 $\ln Y_i \sim \ln V_i$ ($i = R, G, B$)的关系曲线(见图一(a)(b)(c))。

由图一的(a)(b)(c)三图可看出 $\ln Y_i$ 与 $\ln V_i$ ($i = R, G, B$)的关系曲线确实象理论上所描述的那样，近似为一直线，这样，我们就可根据(a)(b)(c)三图得到 rR 、



图一

表一

R路 (基电压=7.231V)				G路 (基电压=7.22V)				B路 (基电压=7.237V)			
Y	lnY	V	ln(ΔV)	Y	lnY	V	ln(ΔV)	Y	lnY	V	ln(ΔV)
0.0146	-4.227	7.406	-1.743	0.0046	-5.382	7.414	-1.650	0.0108	-4.528	7.479	-1.419
0.0299	-3.510	7.464	-1.457	0.0202	-3.902	7.490	-1.317	0.0204	-3.892	7.537	-1.204
0.0534	-2.930	7.522	-1.234	0.0525	-2.947	7.565	-1.070	0.0397	-3.226	7.596	-1.034
0.0835	-2.483	7.580	-1.053	0.1007	-2.296	7.640	-0.872	0.0695	-2.666	7.655	-0.872
0.1237	-2.090	7.638	-0.899	0.1661	-1.795	7.715	-0.707	0.1102	-2.205	7.713	-0.742
0.1723	-1.759	7.696	-0.766	0.2491	-1.390	7.789	-0.56	0.1633	-1.812	7.772	-0.625
0.2347	-1.449	7.760	-0.637	0.3519	-1.044	7.865	-0.442	0.2271	-1.482	7.830	-0.523
0.2946	-1.222	7.812	-0.543	0.4599	-0.777	7.940	-0.331	0.3061	-1.184	7.878	-0.429
0.3708	-0.992	7.871	-0.446	0.5892	-0.529	8.016	-0.231	0.3907	-0.940	7.946	-0.344
0.4557	-0.786	7.929	-0.360	0.7316	-0.313	8.090	-0.141	0.4927	-0.708	8.004	-0.265
0.5449	-0.607	7.987	-0.280	0.8805	-0.127	8.166	-0.058	0.5991	-0.512	8.063	-0.191
0.6404	-0.446	8.045	-0.206	1	0	8.222	0	0.7274	-0.318	8.121	-0.123
0.7459	-0.293	8.103	-0.137					0.8557	-0.156	8.179	-0.06
0.8508	-0.162	8.161	-0.073					1	0	8.287	0
1	0	8.231	0								

r_G 、 r_B ，即这三条准直线的斜率。

$$r_R = 2.25$$

$$r_G = 2.6$$

$$r_B = 2.9$$

由亮度方程，我们知道 (R) (G) (B) 三基色在总亮度中的贡献比是：0.1908 : 0.7276 : 0.0817

这就是说，某一给定的、亮度为Y的颜色，在三通路上的成份分别为：

$$Y_R = 0.1908R$$

$$Y_G = 0.7276G$$

$$Y_B = 0.0817B$$

在确定了R、G、B各路的r值后，我们就可根据以上的关系式，求出施加在R、G、B三通路上的电压，从而复现这个颜色。

4. 颜色复现的误差

通过对所复现的部分Munsoll色的测量 (见表二)，我们得出复现颜色的色度误差为：

$$\Delta x_{max} = 0.0235$$

$$\Delta y_{max} = 0.0203$$

由于我们使用国产金星彩色电视做为监视器，经检测，其亮度及色度均匀性分别为：最大亮度非均匀性：28%

色度误差： $\Delta x = 0.017$ ， $\Delta y = 0.017$

表二

颜色	标准值	测量值	Δx	Δy
2.5PB ⁷ / ₁₀	0.2162	0.2079	0.0083	0.0083
	0.2309	0.2226		
5.0PB ⁶ / ₆	0.2533	0.2407	0.0126	0.017
	0.2558	0.2388		
5.0RP ⁴ / ₄	0.3833	0.4068	0.0235	0.002
	0.2600	0.2560		
7.5RP ³ / ₄	0.3739	0.3869	0.013	0.0042
	0.2851	0.2809		
2.5GY ⁷ / ₁₀	0.4091	0.4197	0.0106	0.0092
	0.5030	0.5122		
10.0R ³ / ₁₀	0.5871	0.6020	0.0149	0.0084
	0.3440	0.3524		
5.0G ⁶ / ₄	0.2868	0.2843	0.0025	0.0134
	0.3595	0.3729		
10.0G ⁵ / ₄	0.2711	0.2629	0.0082	0.0083
	0.3455	0.3372		
7.5YR ⁵ / ₂	0.3540	0.3571	0.0031	0.0076
	0.3445	0.3369		
10.0Y ⁶ / ₄	0.3679	0.3735	0.0056	0.0082
	0.4033	0.3951		
2.5P ⁵ / ₁₄	0.2560	0.2603	0.004	0.002
	0.1774	0.1791		
7.5BG ⁷ / ₆	0.2490	0.2403	0.0087	0.0048
	0.3186	0.3234		
5.0B ⁴ / ₄	0.2363	0.2331	0.0032	0.0032
	0.2782	0.2814		
7.5B ⁷ / ₈	0.2225	0.2138	0.0087	0.0205
	0.2631	0.2426		

由此我们可以看到, 该监视器的亮度均匀特性是不能满足我们的要求的, 从复现的结果来看, 其色度再现特性是令人满意的。

三、电脑色卡与Munsell涂刷色卡的对比

由于电脑色卡与Munsell涂刷色卡的颜色外貌的形式不同, 因此, 描述各自感觉色的术语也就不同。电脑色卡是以自发光形式被感知的, 对于这种自发光色, 用来描述其颜色的一般术语应是色调、亮度和彩度(饱和度)。而Munsell色卡是以物体色的形式被感知的, 对于这种本身不发光的物体, 用来描述其颜色的常用术语是色调、明度和彩度(饱和度)。

通常, 一种刺激的颜色外貌均取决于四类参数, 第一是照明视场的光源的光谱功率分布, 第二是观察者注视的物体及在视场中的所有其它物体的光谱透射率或光谱反射率。第三是物体在视场中的空间排列、大小和形状。第四是当观察者注视他所要判断色外貌的物体时, 对整个视场范围内的可见光谱的响应特性。

鉴于电脑色卡与Munsell涂刷色卡在颜色外貌及材料上的不同, 有必要对这两种形式的色卡做心理物理方面的对比。

首先, 我们随意取出几片Munsell涂刷色卡, 在标准光源 D_{65} 的照明下, 用美制1980彩色亮度计测量这些色卡和与其对应的电脑色卡的三刺激值, 并计算其色度座标。结果见表三。

表三 Munsell色卡与电脑色卡对比数据

标 号	Munsell		电脑色卡		标准值	
	x	y	x	y	x	y
2.5R ⁷ / ₆	0.3815	0.3272	0.3917	0.3198	0.3728	0.3170
N6.0/	0.3158	0.3235	0.3130	0.3290	0.3127	0.3290
5.0YR ⁶ / ₁₀	0.4973	0.4065	0.5071	0.3986	0.4891	0.3866
2.5Y ⁷ / ₈	0.4444	0.4337	0.4640	0.4473	0.4353	0.4312
5.0G ⁸ / ₆	0.3015	0.3781	0.2941	0.3872	0.2822	0.3702
10.0BG ⁷ / ₄	0.2807	0.3246	0.2588	0.3093	0.2642	0.3109
2.5PB ⁵ / ₆	0.2417	0.2543	0.2206	0.2377	0.2365	0.2488
5.0P ⁴ / ₁₂	0.2682	0.1699	0.2820	0.1814	0.2778	0.1808
2.5RP ⁷ / ₁₀	0.3486	0.2648	0.3605	0.2615	0.3487	0.2648

从表三中的对比可看出, Munsell涂刷色卡与电脑色卡在物理量上是基本相符的。因此, 如观察时感觉到有什么不同, 那就是由于心理因素造成的。

在观察灰度等级时, 我们发现两种色卡给人的感觉明显不同, 特别是在明度(亮度)较低时, 电脑色卡中的灰卡给人的感觉就不如涂刷色卡给人的感觉那么真实。这可能是由于分别按物体色形式和自发光形式看到的颜色的两个三维空间区域不能做到完全相等。存在一些颜色(象这里的灰), 它们按不同的形式出形时, 被感知的结果是不同的。这些颜色只有当可见物体以物体色形式出现时, 才能产生这些感觉。

由于电脑色卡是将色卡展现在荧光屏上, 在荧光屏幕的作用下, 我们感到电脑色卡要比同等亮度下的涂刷色卡给人的明度感觉强。相互间有些颜色的色调存在偏离。由于实验条件所限, 我们没能给出定量的结果。

在观察这两种色卡时, 我们还发现, 电脑色卡所显示的色卡的饱和度要比涂刷色卡的饱和度和看起来要低。

对于这方面的一些问题, 还有待于以后进一步的探讨。特别是如何使荧光材料色度学成

为一个提供是够精确资料的应用工具, 还须进一步研究。

四、结束语

利用微型计算机和彩色监视器来复现颜色这一装置还只是电脑色卡的雏形。它的实现, 为电脑色卡日后的诞生提供了坚实的理论及实验基础。尽管目前复现的颜色带有一定的误差, 但是, 随着实验装置的改进及实验方法的提高, 必将获得满意的结果。

在整个实验过程中, 一直得到冯家璋先生的亲自指导, 杨天功同志也给予了一定的帮助, 在此一并表示感谢。

参 考 文 献

1. 束越新 《颜色光学基础理论》, 山东科技出版社, 1981
2. 荆其诚等 《色度学》, 科学技术出版社, 1979
3. H. T. 鲁金著, 李碗贞译《色彩学指南》
4. David L. MacAdam, "Colorimetric data for samples of OSA uniform color scales" J. Opt. Soc. Am 64, 121—130 (1978)
5. W. C. Rheinboldt and J. P. Menard, "Mechaniced Conversion of Colorimetric Data to Munsell Renotation", J. Opt. Soc. Am. 802—807 (1960)

THE COLOUR REDISPLAY OF COMPUTER COLOUR SCALE AND ITS CHROMINANCE ANALYSIS

Jin Qiu

ABSTRACT

First of all, this paper introduces some experiments on realizing computer colour scale. It gives the deviation caused by experimental instruments by the even measure of screen brightness and chrominance, the accuracy of colour redisplay by the measure to every colour scale. According to psychophysics, the author analyses the difference between computer colour scale and the colour Munsell Book in this paper and reaches some gualitative conclusions.