

文章编号: 1009-038X(2000)04-0393-04

环境光和自身因素对彩色 CRT 显示器色度预测的影响

孙寅, 夏侃东, 张逸新

(无锡轻工大学计算科学与信息传播系, 江苏无锡 214036)

摘要: 讨论了环境光和通道间相互作用等几个因素对彩色 CRT 显示器色度预测的影响, 以及如何对应这些影响进行补偿, 在此基础上提出了一种对彩色 CRT 显示器进行全面、精确的色度预测的公式预测方法.

关键词: CRT 显示器; 环境光; 色度

中图分类号: TP11

文献标识码: A

The Effect of Internal Factors and Ambient Light on Chromaticity Prediction of Color CRT Monitors

SUN Yin, XIA Kan-dong, ZHANG Yi-xin

(Department of Computing Science and Information, Wuxi University of Light Industry, Wuxi 214036)

Abstract: In this paper, the effect of several factors, such as ambient light and channel interaction, on chromaticity prediction of color CRT monitors was discussed. A completely precise method of formula-ry chromaticity prediction was proposed.

Key words: CRT Monitor; ambient light; chromaticity

彩色 CRT 显示器已广泛应用于各种图象的显示及色彩复制领域, 对其进行精确的色度预测是相当重要的. 目前国内外对彩色 CRT 显示器的色度预测进行了很多研究, 这些研究大多是将显示器置于暗室中进行的, 而通常大多数 CRT 显示器都是在有一定环境照明的情况下使用的, 由于不同的环境光照度会对显示器显示色彩产生显著影响, 因此必须考虑有环境光照明条件的 CRT 显示器的显示色度预测, 以便对其进行有效的控制, 达到真实的效果. 此外, CRT 的一些内部因素也必须考虑, 以便实现全面、精确的色度预测.

1 色度预测的数学模型

彩色 CRT 显示器的红、绿、蓝三电子枪的控制电压与其输出亮度之间的关系可用以 r 为指数的幂函数来表示, r 通常在 $2 \sim 3$ 之间, 目前 CIE、IEC 等规范中都提出了自己的标准模型, 其形式各异, 本文列出了常见的 4 种模型^[1].

1) 简单模型: $Y = a \cdot X^r$.

2) GOG (增益—偏置— r) 模型: $Y = (a \cdot X + b)^r$.

3) GOGO (增益—偏置— r —偏置) 模型: $Y =$

收稿日期: 1999-11-23 修订日期: 2000-04-24.

作者简介: 孙寅(1962-), 女, 上海人, 工学学士, 讲师.

万方数据

(a · X + b)^r + c.

4) GGO(增益—r—偏置)模型 :Y = a · X^r + b.

式中 Y 为每个通道中的亮度值, X 为驱动电
压值. 对上述各模型均用 Taylor 级数方法进行非线性
回归分析, 并将利用 PR1980B 彩色亮度计测量实
验室中的 CASPER 显示器所得的数据输入计算机,
进行迭代计算. 结果见表 1~3. 可以看出 GOG 模型
是 4 种模型中最精确的, 因此可以选定 GOG 模型
作为描述各电子枪驱动电压值与输出亮度之间关
系的公式.

表 1 红电子枪分析结果

Tab.1 The analytical conclusion of red electronic gun

模型	a	b	c	r	偏差平方和	标准偏差
简单模型	0.000 801			2.373 617	0.078 76	0.075 005
GOG 模型	0.056 433	-0.168 147		2.213 998	0.051 13	0.060 433
GGO 模型	0.000 934	-0.087 168		2.337 562	0.064 381	0.067 813
GOGO 模型	0.055 817	-0.089 072	-0.022 995	2.219 761	1.332 795	0.308 544

表 2 绿电子枪分析结果

Tab.2 The analytical conclusion of green electronic gun

模型	a	b	c	r	偏差平方和	标准偏差
简单模型	0.003 497			2.326 077	19.603 943	1.183 335
GOG 模型	0.138 135	-0.996 279		1.945 14	16.795 328	1.095 293
GGO 模型	0.005 352	-0.923 028		2.226 26	18.072 972	1.136 189
GOGO 模型	0.119 417	-7.069 54	0.932 205	2.076 351	34.500 24	1.569 81

表 3 蓝电子枪分析结果

Tab.3 The analytical conclusion of blue electronic gun

模型	a	b	c	r	偏差平方和	标准偏差
简单模型	0.001 551			2.056 216	0.057 087	0.063 857
GOG 模型	0.047 928	-0.127 111		1.927 115	0.048 466	0.058 837
GGO 模型	0.001 831	-0.058 794		2.017 538	0.052 327	0.061 136
GOGO 模型	0.048 147	-0.140 417	-0.100 034	1.930 316	0.206 622	0.121 486

根据格拉斯曼定律, 经过理论推导后, 可以用
下式来表示红、绿、蓝电子枪同时发光时产生的混
合色彩的三刺激值:

响, 用上述转换式还不足以精确描述混合色的三刺
激值与彩色 CRT 显示器的 Y_r, Y_g, Y_b 之间的关
系.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_r \\ Y_g \\ Y_b \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \frac{x_r}{y_r} & \frac{x_g}{y_g} & \frac{x_b}{y_b} \\ 1 & 1 & 1 \\ \frac{z_r}{y_r} & \frac{z_g}{y_g} & \frac{z_b}{y_b} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} Y_r &= (a_r \cdot D_r + b_r)^{\gamma_r} \\ Y_g &= (a_g \cdot D_g + b_g)^{\gamma_g} \\ Y_b &= (a_b \cdot D_b + b_b)^{\gamma_b} \end{aligned} \quad (2)$$

式中 $x_i, y_i, z_i (i = r, g, b)$ 为红、绿、蓝三电子
枪在最大电压单独驱动下的色度坐标.

由于万芳显示器自身结构和外部环境的影
响, 用上述转换式还不足以精确描述混合色的三刺
激值与彩色 CRT 显示器的 Y_r, Y_g, Y_b 之间的关
系.

2 影响因素

研究表明^[1], 由于闪烁、有害发射以及通道间
相互作用等因素, 红、绿、蓝单通道的亮度总和通常
比相同三电子枪驱动值下红、绿、蓝荧光粉同时发
光得到的色彩的亮度大. 根据 CIE122—1996, 视觉
闪烁可分为内部闪烁和外部闪烁, 因此显示器的显
示色彩也可以通过内部闪烁、外部闪烁和荧光粉产
生的色彩等项的组合束来表示:

$$\begin{aligned} XYZ_{\text{显示器}} &= XYZ_{\text{荧光粉}} + XYZ_{\text{内部闪烁}} + \\ &XYZ_{\text{外部闪烁}} + \cdots \cdots \end{aligned} \quad (3)$$

其中内部闪烁是由于人眼或仪器检测区域附近 CRT 玻璃的内部反射光使荧光粉发光而引起的,它包括次级发射和邻近像素的内部反射两项,即

$XYZ_{\text{内部闪烁}} = XYZ_{\text{次级发射}} + XYZ_{\text{邻像素内部反射}} \quad (4)$

电源供应不足是通道间相互作用应考虑的一个产生原因,由电源供应的阳极电压有时会由于阴极电流的增加而降低,白色信号产生的总电流通常要大于单独红、绿、蓝信号产生的电流,因此白色信号的阳极电压略低于单色信号的阳极电压,这是亮度不遵循加色法则的原因之一. 其次还应考虑单个像素的次级发射和误着陆电子束的影响,对这两个因素来说,电子束电流越大,次级电子数和电子束亮度会越大,它们对显示器色彩的影响也就越大.

当调节亮度按钮增大显示亮度时,也增大了黑色的亮度电平,此时在屏幕上显示黑色时也可以观察到一定亮度,可表示如下:

$XYZ_{\text{min}} = XYZ_{\text{Rmin}} + XYZ_{\text{Gmin}} + XYZ_{\text{Bmin}} \quad (5)$

这时单通道内的最大亮度会受到 XYZ_{Rmin} 、 XYZ_{Gmin} 、 XYZ_{Bmin} 的影响,在最大亮度时,纯色的红、绿、蓝各色的三刺激值可表示为:

$$\begin{cases} XYZ_{\text{Rmax}} = XYZ_{\text{R}} + (XYZ_{\text{Gmin}} + XYZ_{\text{Bmin}}) \\ XYZ_{\text{Bmax}} = XYZ_{\text{B}} + (XYZ_{\text{Rmin}} + XYZ_{\text{Gmin}}) \\ XYZ_{\text{Gmax}} = XYZ_{\text{G}} + (XYZ_{\text{Bmin}} + XYZ_{\text{Rmin}}) \end{cases} \quad (6)$$

其中 XYZ_{R} 、 XYZ_{G} 、 XYZ_{B} 分别表示单纯红、绿、蓝荧光粉发光的三刺激值,括号中的各项表示其它通道的影响,称之为有害发射,由此可以用 (7) 式表示最亮的色的三刺激值:

$$XYZ_{\text{max}} = XYZ_{\text{R}} + XYZ_{\text{G}} + XYZ_{\text{B}} = (XYZ_{\text{Rmax}} - XYZ_{\text{Gmin}} - XYZ_{\text{Bmin}}) + (XYZ_{\text{Gmax}} - XYZ_{\text{Bmin}} - XYZ_{\text{Rmin}}) + (XYZ_{\text{Bmax}} - XYZ_{\text{Rmin}} - XYZ_{\text{Gmin}}) = (XYZ_{\text{Rmax}} + XYZ_{\text{Gmax}} + XYZ_{\text{Bmax}}) - 2XYZ_{\text{min}} \quad (7)$$

在有环境光的情况下,外界光线在阴极射线管上会产生反射,将其定义为外部闪烁,其值决定于环境亮度大小和 CRT 的涂层类型. 假设 CRT 显示器表面是一个朗伯反射体,则外部闪烁对显示色彩所产生的影响可用 (8) 式表示:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{外部闪烁}} = R_{bk} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{环境光}} = R_{bk} \cdot \frac{M}{\pi} \cdot \frac{1}{Y_{\text{环境光}}} \begin{bmatrix} x_{\text{环境光}} \\ y_{\text{环境光}} \\ 1 - x_{\text{环境光}} - y_{\text{环境光}} \end{bmatrix} \quad (8)$$

式中: R_{bk} ——CRT 的反射率; M ——环境照度.
对于内部闪烁中的次级发射和邻像素的内反

射,通过将测量区域的背景设为黑色,就可将其影响最小化. 目前彩色 CRT 显示器都配有稳压电路,使阳极电压保持稳定. 因此可以不考虑由于电源供应不足引起的通道间相互作用. 此外通过将黑色的亮度电平设置为零,可忽略有害发射的影响. 由此根据 (3) 式,充分考虑各因素的影响,可以采用一个 3×4 补偿矩阵来更精确地描述彩色 CRT 显示器显示色彩的三刺激值.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ Y_r \\ Y_g \\ Y_b \end{bmatrix} \quad (9)$$

其中项 1 就是对内部闪烁、外部闪烁、次级发射及有害发射等影响因素的综合补偿.

环境光产生的外部闪烁对显示色彩的影响只是一个方面,另外环境光对色彩的外观也有重大影响^[2]. 通常对非彩色改变照度时,在高照度下会感到淡灰色更白,暗灰色更黑;对彩色来说,随着照度的增加其彩度会增大. 彩色 CRT 显示器的显示色彩对环境照度的改变也会产生相应的响应. 假定置于暗室中的彩色 CRT 显示器上显示有某一色块,其三刺激值可由 (9) 式求得,为了得到不同环境光照明下显示色彩的真实三刺激值,可考虑用以下方法转换. 首先通过 (10) 式将求得的三刺激值转换为 R 、 G 、 B 三刺激值:

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} +0.40024 & 0.7076 & -0.08081 \\ -0.2263 & 1.16532 & 0.0457 \\ 0 & 0 & 0.91822 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (10)$$

当采用照度为 E 的环境光照明 CRT 显示器时,则上述显示色彩的三刺激值相应变为 R' 、 G' 、 B' ,并可通过 (11) 式计算得到:

$$\begin{cases} R' = (100 \cdot \rho_0 \cdot \xi + 1) \cdot (R + 1)^{f(R_0)} - 1 \\ G' = (100 \cdot \rho_0 \cdot \eta + 1) \cdot (G + 1)^{f(G_0)} - 1 \\ B' = (100 \cdot \rho_0 \cdot \zeta + 1) \cdot (B + 1)^{f(B_0)} - 1 \end{cases} \quad (11)$$

其中 $\xi = \frac{0.48105x_0 + 0.78841y_0 - 0.08081}{y_0}$
 $\eta = \frac{-0.272x_0 + 1.11962y_0 + 0.0457}{y_0}$
 $\zeta = \frac{0.91822(1 - x_0 - y_0)}{y_0}$
 $f(R_0) = \frac{6.496 + R_0^{0.4495}}{6.496 + 6.362R_0^{0.4495}}$
 $f(G_0) = \frac{6.496 + G_0^{0.4495}}{6.496 + 6.362G_0^{0.4495}}$

$$f(B_0) = \frac{8.414 + B_0^{0.5128}}{8.414 + 8.091B_0^{0.5128}}$$

$$\begin{bmatrix} R_0 \\ G_0 \\ B_0 \end{bmatrix} = \rho_0 \cdot \frac{E}{\pi} \cdot \begin{bmatrix} \xi \\ \eta \\ \zeta \end{bmatrix}$$

式中: ρ_0 ——显示屏反射率; x_0, y_0 ——环境光的色度坐标; R_0, G_0, B_0 ——环境光的三刺激值。

最后利用(10)式的递转换将求得的 R', G', B' 值转换为常见的 XYZ 三刺激值:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.85995 & -1.12939 & 0.2199 \\ 0.36119 & 0.63881 & 0 \\ 0 & 0 & 1.08906 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix} \quad (12)$$

由此得出的 X, Y, Z 值即在照度为 E 的某环境光的照明下彩色 CRT 显示器显示色彩的最佳预测值。

3 结 语

本文主要从理论上对某环境光照条件下彩色 CRT 显示器显示色彩的色度预测进行了分析,力求全面、精确地预测显示色彩的三刺激值。当然,对于高精度色彩复制仅仅使用公式预测是不够的,还需要在实际使用和测量中采用其他一些有效的方法对显示色彩进行控制。

参考文献

- [1] TATSUYA DEGUCHI, NAOYA KATOH. The Effect of User Controls on CRT Monitor Characteristics[J]. SPIE, 1998, 3300: 219~229.
- [2] 大田登著. 色彩工学[M]. 刘中本译. 西安: 西安交通大学出版社, 1998.