

文章编号: 0253-2239(2009)06-1746-05

# 视觉估计阴极射线管显示器伽玛值精度研究

张子扬 石俊生 余鸿飞 黄小乔

(云南师范大学颜色与图像视觉实验室, 云南 昆明 650092)

**摘要** 伽玛值设置或校正是一种控制显示器显示颜色的简单实用方法。对条纹混色比色法视觉估计伽玛值的精度进行了研究,包括同一实验者的重复性、不同实验者的一致性、视觉估计与仪器测量结果的比较、混合条纹亮暗的选择对精度的影响。在 hp CRT 显示器上进行的实验结果表明,同一实验者有很高的重复性;不同实验者的差别较小;视觉估计红、绿、蓝和亮度通道的伽玛值的平均值分别是 2.18、2.17、2.40、2.20,仪器测量得到的伽玛值的标准值分别是 2.13、2.05、2.37、2.09。视觉估计和仪器测量的伽玛值差距约为 0.08,适当选择亮、暗混合条纹不仅容易混合匹配,估计伽玛值与仪器测量结果更接近。

**关键词** 视觉光学; CRT 显示器; 伽玛值; 比色测光法; 视觉匹配

中图分类号 O432.2 文献标识码 A doi: 10.3788/AOS20092906.1746

## Accuracy of Visual Estimating Gamma Value for CRT Monitor

Zhang Ziyang Shi Junsheng Yu Hongfei Huang Xiaoqiao

(Color & Image Vision Laboratory, Yunnan Normal University, Kunming, Yunnan 650092, China)

**Abstract** Setting or calibrating gamma value is a simple and practical method for controlling color on computer displays. The accuracy of visual estimating gamma value of CRT displays is investigated by using the stripe photometry method. The investigated factors include stability for one subject, consistency for different subjects, influence of stripe with different luminance levels. The estimated results were compared with ones measured by instruments. The experiments were conducted on hp 21" CRT display. The results show that the same operator's matching result is very stable and matching values vary little for different subjects, gamma mean values by visual estimation for R, G, B and luminance channels are 2.18, 2.17, 2.40, 2.20, and the measured values are 2.13, 2.05, 2.37, 2.09 respectively. The difference between estimated and measured gamma values is about 0.08. Appropriate choice of stripe with different luminance levels will make visual matching more easily, and the estimated gamma value is more adjacent to the measured value.

**Key words** visual optics; CRT monitor; gamma value; colorimetric photometry; visual matching

## 1 引 言

随着显示技术的发展,人们对显示器显示颜色亮度和真彩色度的要求越来越高。同时,某些工作要求显示器上的颜色显示尽可能精确控制,如颜色管理系统(CMS)、人眼颜色视觉实验等<sup>[1,2]</sup>。显示器显示颜色的精确控制一般采取显示器特性化<sup>[3~7]</sup>。但在一些对显示器颜色控制要求不高的应用场合,往往只用设置或校正伽玛

(gamma)实现颜色控制。

得到比较精确的显示器伽玛值要采用仪器测量,对于普通用户极不实用。所以采用视觉心理测量的方法对显示器伽玛值进行估计测量就显得非常简单方便,有一定的研究和实用价值。国外有关人眼视觉估计显示器伽玛值或特性化已经做了研究,有论文、专利的文献报道及软件和网络程序采用人眼视觉测量方法<sup>[8~10]</sup>。

收稿日期: 2008-09-03; 收到修改稿日期: 2008-11-08

基金项目: 国家自然科学基金(60668001)资助项目。

作者简介: 张子扬(1984—),男,硕士研究生,主要从事颜色科学与技术、图像视觉方面的研究。E-mail: 85618866@qq.com

导师简介: 石俊生(1960—),男,教授,博士生导师,主要从事颜色科学与技术、图像视觉方面的研究。

E-mail: shi-js@263.net (通信联系人)

从人眼视觉测量伽玛值或视觉特性化显示器的报道<sup>[8~10]</sup>来看,一些问题需要进一步解决:(1)估计方法的改进:如 Photoshop Adobe gamma 等软件的匹配方法,存在着不容易匹配的缺陷;(2)估计精度:已有报道中没有关于视觉测量伽玛值精度的报道。本文针对这两个问题进行了重点研究,为实际应用提供参考。选择了符合 CRT 显示器扫描原理的横条纹匹配法,并且考虑了多种因素对实验结果的影响,对视觉估计伽玛值方法进行了改进。最终与仪器测量进行比较,研究视觉估计伽玛值精度。

## 2 视觉估计伽玛值理论与方法

### 2.1 GOG (Gain-Offset-Gamma)模型及其简化

CRT 显示器特性化普遍采用的 GOG 模型可以描述为<sup>[3~5]</sup>

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

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

其中  $d_r$ 、 $d_g$ 、 $d_b$  分别为红、绿、蓝三通道数字驱动量,  $L$  为相对应的显示亮度值,参数  $k_g$ 、 $k_o$ 、 $\gamma$  分别表示各通道增益(Gain)、偏置(Offset)和伽玛(Gamma)特性,  $N$  为显示卡模拟/数字转换的比特数,一般  $N=8$ 。(1)式为由三个电子枪亮度得到色度,即荧光粉线性上色过程,(2)式为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。显示器特性化需要确定以上方程中 18 个参数的大小。下面重点是讨论视觉估计  $\gamma$  的方法。

一般显示器  $k_g$  接近为 1,  $k_o$  接近 0。近似取  $k_g=1, k_o=0$ , 变成 GOG 简化模型,采用这一简化模型研究视觉估计伽玛值。设显卡显存为 8 bit,以红通道为例,则

$$R = \frac{L_r}{L_{r,\max}} = \left( \frac{D_r}{255} \right)^{\gamma_r}. \quad (3)$$

### 2.2 视觉混色匹配原理及方法

根据(3)式得到红通道伽玛值  $\gamma_r$ ,需采用红通道同色混色法的视觉匹配方法<sup>[8]</sup>。本实验采用如图 1 所示的实验模型,当两种不同亮度相间的条纹色

块与中间色块匹配时,亮暗条纹的亮度  $L_{\text{stripe},1}$ 、 $L_{\text{stripe},2}$  和匹配色块的亮度  $L_{\text{matching-color}}$  近似满足

$$(L_{\text{stripe},1} + L_{\text{stripe},2})/2 = L_{\text{matching-color}}. \quad (4)$$

混色匹配的方法和技术对匹配难易程度、匹配精度和可靠性有非常大的影响。经多次实验对比,空间条纹混色采用如图 1 所示的横条纹混色匹配,亮暗条纹极易混色,且色彩均匀性好、稳定性很高;而采用竖条纹混色则出现显示不均匀现象,这与 CRT 显示原理中电子枪扫描方向有关。

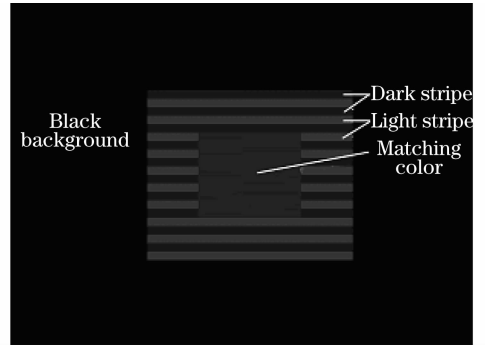


图 1 横条纹混色匹配模型图

Fig. 1 Matching pattern by using traverse stripe mixing method

除了图 1 所示的空间匹配方法,还有闪烁混色法<sup>[8]</sup>,经过大量实验证明,由于受到普通 PC 机显卡刷新主频的影响,闪烁混色法可能出现混色不稳定的情况,人眼会不自觉的感觉出闪烁的存在。再者,在匹配的过程中,人眼不容易区分混色色块与匹配色块的差距,一旦造成视觉疲劳,从视觉心理理论出发,这会增加测量结果的不可靠性<sup>[11]</sup>。

大背景采用黑色可以降低背景带来的“视觉噪声”,匹配色块放在混色色块中间增加二者的对比度,提高人眼灵敏度<sup>[11]</sup>。

## 3 实验

### 3.1 实验器材及实验条件

- 阴极射线管显示器: hp p1130 型 21 英寸 (53.34 cm), 大约使用 4000 h, 使用效果良好;
- 显示卡: NVIDIA GeForce4 MX 440, 显存  $N=8$ ; 刷新频率 75 Hz, 分辨率  $1600 \times 1200$ ;
- 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  $0.01 \sim 19990 \text{ cd/m}^2$ , 精度  $\pm 0.5\%$ ;
- 测量前显示器开机预热 2 h 以上;
- 白点设置 D65, 亮度  $123.1 \text{ cd/m}^2$ , 黑点亮度  $0.89 \text{ cd/m}^2$ ;

- 中间匹配色块 4.7 cm×4.7 cm;周边条纹混色色块 9.4 cm×9.4 cm,条纹宽度 1 或 2 个像素;
- 观察距离 0.6 m 以上;
- 实验者:5 人,左右眼视力 1.2 以上,或经矫正 1.2 以上,有正常的色视觉;
- 实验环境:暗室。

### 3.2 视觉估计伽玛值稳定性研究

视觉估计伽玛值是否可行,显示器的稳定性、单人数据的重复性和多人数据的一致性为前提。

阴极射线管显示器需预热 2 h,以便达到稳定<sup>[6]</sup>,对本实验所用显示器进行重复测量,结果一致。从表 1 中单人不同时间测量数据看,显示器稳定已满足视觉估计伽玛值的条件。下面的所有实验,都是在显示器开机达到稳定后进行的。

单人估计数据的重复性研究。选取一名实验者,且该实验者对实验原理及实验方法均不了解,在显示器开机达到稳定后,一周内让此实验者随机分别对 R、G、B 三通道 255 和 0、200 和 50、150 和 100 三组亮暗条纹进行 10 次匹配估计,实验结果如表 1 所示。表中给出匹配值的一个范围,表示有一个或几个匹配值,但实际实验中处于中间的匹配值出现频率非常高,而其余匹配值出现频率很低。另外,B 通道的匹配值都是唯一的,R 和 G 通道也有匹配值唯一的情况。

表 2 五名实验者匹配值及相互最大差别

Table 2 Matching value of five subjects and the maximum deviation between them

Digital value of stripe		Channel	Matching value of five subjects					Maximum difference between them
Light	Dark		1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>	4 <sup>#</sup>	5 <sup>#</sup>	
250	0	R	182	181/182	182	181/182	182	0.5
		G	181	181	181	181	180	1
		B	187	187	187	187	187	0
		R	149	148	148/149	149	149	1
200	50	G	148	148	148	148	148	0
		B	152	152	152	151/152	152	0.5
		R	128	128	128	128	128	0
150	100	G	128	128	128	128	128	0
		B	129	129	129	129	129	0

实验结果显示,五名实验者的测试结果对不同通道、不同亮暗条纹,匹配结果基本保持一致,其匹配差别都在 1 个数字驱动单位以下,对伽玛值估计结果影响不大。可以认为,对正常色视觉和视力 1.2 以上的实验者,匹配结果基本相同,这样也克服了不同实验者估计伽玛值差距较大的不良结果。

### 3.3 亮暗条纹数字量对伽玛值估计值的影响

从(3)式和(4)式可以看出,理论上可以用任意

表 1 一名实验者 10 次实验匹配范围  
Table 1 Matching range of R,G and B for one subject for ten times

Digital value of stripe		Channel	Range of matching value
Light	Dark		
250	0	R	181~183
		G	181~182
		B	187
		R	149~150
200	50	G	148~149
		B	152
		R	128
150	100	G	128
		B	129

多人估计数据的一致性研究。编号 1<sup>#</sup>—5<sup>#</sup> 的五名实验者,对 R、G、B 三通道,数字量分别是 255 和 0、200 和 50、150 和 100 三组不同亮、暗条纹亮度进行匹配实验。实验结果如表 2 所示。表中部分数据有两个相邻的匹配值,这是因为两个值都与条纹色块匹配(实验者难以区分)或都不能匹配(实验者认为两种匹配色块与条纹色块相比一个较暗,一个较亮),在计算伽玛值时取两者平均值。

一组亮、暗条纹进行匹配估计,但由于硬件系统本身的特性与估计伽玛理论的近似性,需要对亮暗条纹的采样进行筛选。针对这一问题,做了如下实验:采取以数字量 130 为中心点的 13 组亮、暗不同的条纹进行匹配。表 3 是对其中一名实验者的实验结果。其中 Gray 代表三通道同时作用产生的亮度通道。亮度通道有部分空缺数据是由于混色色块与匹配色块色调发生明显差别,实验者无法匹配亮度所致。

表 3 一名实验者视觉匹配结果及 gamma 估计值  
Table 3 Visual matching result and reckoning gamma value of them

Digital value of stripe		Matching value of four channels				Gamma value of four channels			
Light	Dark	R	G	B	Gray	R	G	B	Gray
140	120	130	130	130/131	130	1	1	2.303	1
150	110	132	132	132	132	2.314	2.314	2.314	2.314
160	100	134	134	135	134	2.177	2.177	2.488	2.177
170	90	137	137	138	137	2.175	2.175	2.357	2.175
180	80	141	141	143	141	2.205	2.205	2.457	2.205
190	70	145	145	147	145	2.159	2.159	2.343	2.159
200	60	150	149.5	153	151	2.161	2.126	2.381	2.232
210	50	156	155.5	159	156/157	2.190	2.1604	2.374	2.219
220	40	162	161/162	166	162/163	2.187	2.162	2.403	2.213
230	30	168/169	168/169	173		2.191	2.191	2.408	
240	20	175	174/175	180		2.181	2.160	2.401	
250	10	182	181/182	187		2.181	2.162	2.386	
255	0	186	185/186	191		2.197	2.178	2.399	
Mean value						2.182	2.169	2.400	2.201

实验结果看出,从视觉匹配的难易程度和准确度上考虑:当亮、暗条纹数字量接近时,如 140 和 120 的伽玛值估计接近 1,这是因为在小范围近似线性的缘故;150 和 110 的 R, G, Gray 三通道的匹配值与其它数据差异太大,这是因为显卡亮度等级太低造成的。所以认为这两组数据不准确,在平均值的统计分析中剔除。当亮、暗条纹数字量相差较大时,如 255 和 0,视觉匹配有困难,除了本实验发现的亮度通道色度上的不匹配,在一些软件,如 Photoshop 的 Adobe gamma 采用 255 和 0 混合需要眯着眼睛进行匹配,说明亮度相差较大的亮暗条纹不容易混合。

从表 3 中的伽玛值还无法判断哪组亮、暗条纹估计伽玛值最准确,为此要与仪器测量结果进行比较。

### 3.4 视觉估计与仪器测量结果比较

根据依赖于仪器显示器特性化方法实验结果<sup>[6]</sup>,黑点对特性精度影响很大。所以,仪器测量计算伽玛值采用下式模型,以此作为评价视觉估计伽玛值准确度的标准:

$$R = \frac{L_r - L_{\text{black-point}}}{L_{r,\text{max}} - L_{\text{black-point}}} = \left(\frac{D_r}{255}\right)^{\gamma_r} \quad (5)$$

这种考虑黑点的仪器测量方法,其结果按照显示器特性化的色差标准来衡量,有 0.4~0.8 的 CIELAB 色差<sup>[6]</sup>,将这种显示器特性化的误差传递给伽玛值参数,则其误差为±0.05。

仪器测量 R、G、B 三通道和亮度通道的伽玛值,采用 17 点测量方法建立了四个通道的查找表(LUT),并优化计算了伽玛值,结果如表 4 所示。

表 4 测量 17 点的四通道归一化 LUT 查找表及优化计算的伽玛值

Table 4 LUTs for four channels of measuring 17 points and the optimum gamma value

Digital value	LUT for four channels			
$D_r$ $D_g$ $D_b$ $D_l$	R	G	B	Gray
0	0	0	0	0
16	0.0068	0.0077	0.0020	0.0070
32	0.0191	0.0207	0.0070	0.0191
48	0.0362	0.0395	0.0189	0.0369
64	0.0601	0.0653	0.0369	0.0617
80	0.0905	0.0978	0.0628	0.0933
96	0.1286	0.1379	0.0977	0.1324
112	0.1746	0.1858	0.1416	0.1792
128	0.2298	0.2423	0.1954	0.2348
144	0.2929	0.3067	0.2592	0.2996
160	0.3653	0.3790	0.3330	0.3725
176	0.4469	0.4616	0.4177	0.4537
192	0.5399	0.5543	0.5146	0.5467
208	0.6416	0.6546	0.6211	0.6480
224	0.7535	0.7625	0.7388	0.7583
240	0.8763	0.8806	0.8684	0.8778
255	1	1	1	1
Gamma value	2.127	2.051	2.371	2.093

比较视觉估计和仪器测量结果表 3 和表 4,视觉估计 R、G、B 和亮度通道的伽玛值平均值分别是 2.18、2.17、2.40、2.20,仪器测量得到的伽玛值分别是 2.13、2.05、2.37、2.09,两者的平均差距约 0.08。根据 Snjezana Soltic 的研究结果,当伽玛值变化 0.1 时,产生特性化误差 3.58 个 CIELAB 色差单位<sup>[12]</sup>。由此看出,视觉估计和仪器测量 0.08 的伽玛值差距

产生小于 3 个 CIELAB 色差单位。本研究也对单通道伽玛值变化产生特性化误差进行了研究,实验结果是,特性化误差在 2.5 个 CIELAB 色差单位内, $R$ 、 $G$ 、 $B$  三通道伽玛值所容许的变化范围分别  $R: \pm 0.25$ ;  $G: \pm 0.12$ ;  $B: \pm 0.15$ 。

另外,如果选用表 3 中单个估计结果,则不同组合的估计结果有较大差异,表 3 中加黑框伽玛值,是四个通道视觉估计与仪器测量最接近值,可以看出,亮条纹数字驱动量在 190~210,暗条纹在 70~50 两者最接近,而且红蓝两通道两者结果更加相近,绿通道和亮度通道相对较差。

## 4 结论与讨论

实验在 hp 专业显示器上进行实验,得到以下主要结论:(1) 同一实验者有很好的重复性;(2) 不同实验者的差别很小;(3) 视觉估计红、绿、蓝和亮度通道的伽玛值的平均值分别是 2.18、2.17、2.40、2.20,仪器测量得到的伽玛值的标准值分别是 2.13、2.05、2.37、2.09,视觉估计和仪器测量伽玛值差距约为 0.08。(4) 适当选择亮、暗混合条纹的数字量不仅容易混合匹配,而且估计伽玛值与仪器测量值更接近。在 21" G520 Sony 专业显示器上也进行了相同实验,虽然两种显示器的伽玛值不同,实验得到的数据不同,但在显示器稳定状态下,得到的结论是一致的。

实验中发现, $R$ 、 $G$ 、 $B$  以及亮度条纹混色难易程度不同。 $B$  通道最容易,即实验者很容易找到与亮暗条纹匹配的中间色块数字量,其次是  $R$  通道, $G$  通道有一定难度,特别是亮度通道出现亮暗条纹混合颜色与中间匹配色块的色度不匹配的现象。另外,实验也对背景的影响进行了研究。分别采用黑、白、灰三种背景,实验结果表明,不同背景亮度对匹配结果没有影响。从实用角度上,不同亮暗的条纹组合估计得到的伽玛值与仪器测量得到的值有不同的偏差,绝大多数结果符合实用标准。

虽然本文以仪器测量作为准确值,事实上视觉

估计与以前测量方法哪种更准确的问题还需要进一步研究,同时在液晶显示器上也需要同样的实验研究。

## 参 考 文 献

- 1 Klára Wengzel, Károly Lanunga, 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 Shi Junsheng, Yao Juncai, Yu Hongfei *et al.*. Measurement of luminance contrast sensitivity function of human visual system on cathode ray tube display[J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(4): 744~748  
石俊生,姚军财,余鸿飞等.用显示器测量人眼 CSF[J]. *光学学报*, 2007, **27**(4): 744~748
- 3 R. S. Berns. Methods for characterizing CRT displays[J]. *Displays*, 1996, **16**(4), 173~182
- 4 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
- 5 R. S. Berns, R. J. Motta, M. E. Gorzynski. CRT colorimetry. Part II: metrology[J]. *Col. Res. Appl.*, 1993, **18**(5): 315~325
- 6 Shi Junsheng, YunLijun, Yang Jian *et al.*. Accuracy of colorimetric characterization and effect of black point for CRT monitor[J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(2): 371~376  
石俊生,云利军,杨健等.阴极射线管显示器特性化精度及黑点的影响[J]. *光学学报*, 2007, **27**(2): 371~376
- 7 Zhang Xiandou, Xu Haisong. Piecewise partition model for accuracy colorimetric characterization of liquid crystal display[J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(9): 1719~1724  
张显斗,徐海松.液晶显示器颜色特征化的分段分空间模型[J]. *光学学报*, 2007, **27**(9): 1719~1723
- 8 Gustav Braun. Visual display characterization using flicker photometry techniques[C]. *SPIE*, 2003, **5007**: 199~209
- 9 Attila Neumann, Alessandro Artusi, László Neumann *et al.*. Accurate display gamma functions based on human observation[J]. *Col. Res.*, 2007, **32**(4): 310~319
- 10 Jennifer Gillel, Larry Arend, James Larimer. Display characterization by eye: contrast ratio and discrimination throughout the grayscale[C]. *Proc. SPIE*, 2004, **5292**: 218~233
- 11 Yang Zhiliang. *Experimental Psychology* [M]. Hangzhou: Zhejiang Education Publishing House, 1998, **12**: 273~334  
杨治良. *实验心理学*[M]. 杭州:浙江教育出版社, 1998, **12**: 273~334
- 12 Snjezana Soltic, Andrew N. Chalmers. Modeling the effects of gamma on the colors displayed on cathode ray tube monitors[J]. *J. Electronic Imaging*, 2004, **13**(4): 688~700