

彩色 LCD 显示器色彩特性研究

钟云飞¹, 陈乾坤²

(1. 湖南工业大学 包装与印刷学院, 湖南 株洲 412008; 2. 中国印刷集团公司 北京新华印刷厂, 北京 100044)

摘要: 在基于 ICC 标准的彩色 liquid crystal display (LCD) 显示器色彩管理的基础上, 采用对色彩空间不均匀划分, 将色彩空间划分为 512 个色块, 用 GretagMacbeth Eye-One pro 分光光度计对各色块进行精确的、多参数的测量。利用实验所得的数据对显示器的色域、时间均匀性、空间均匀性、通道的独立性等显色特性进行了研究和分析。根据 ICC 提供的均匀色彩空间, 定量描述了液晶显示器的颜色特性, 分析了液晶显示器色彩特性对显示彩色图像的影响。

关键词: LCD; 颜色特性; 色域; 显示器显色特性

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1673-9833(2008)01-0095-04

Study on the Color Characteristics of LCD Color Display

Zhong Yunfei¹, Chen Qiankun²

(1. School of Packaging and Printing, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412008, China;
2. Xinhua Printing Factory of Beijing, China Printing Group Corporation, Beijing 100044, China)

Abstract Based on the ICC standard in the colour management of LCD monitor, the colour space is divided into 512 columns through the uneven division of colour space. Each column has a precise and multi-parameter measurement by the GretaMacbeth Eye-One Pro Spectrometer of X-Rite incorporation. Then the monitor colour Gamut, time, space and independence of the channel are deeply researched and analyzed according to the experimental database. The colour profile of LCD monitor is described according to the colour space of ICC. It also analyzed that LCD colour profile has the influence on the monitor colour image.

Key words: LCD; the color characteristics; color gamut; color display characteristics

屏幕软打样系统可采用 2 种不同类型的显示器: 阴极射线管显示器 CRT(Cathode Ray Tube)和液晶显示器 LCD(Liquid Crystal Display)。在图像处理和印刷行业中, CRT 型显示器以它色域宽、色彩稳定、观察效果无方向性等特点占据着垄断地位^[1]。近年来, 国内学者对 LCD 显示器的研究还不多。国际标准 ISO/CD 12646 “印刷技术—彩色打样用显示器—性能指标和观测条件”中, 用于软打样的显示器的性能指标也是针对 CRT 显示器给出的。田玉敏、梁若莹在文献[2]中, 对计算机色彩输入输出设备常用的颜色空间作了简要介绍, 其中主要对它们的设备相关性、感知线性化程度以及视觉直观性等作了说明; 黄庆梅等对 LCD 显示器

的色彩特性进行了研究, 并以 3D-LUT 方法建立了设备颜色空间 RGB 与标准颜色空间之间 $L^*a^*b^*$ 的近似转换模型, 分析比较了它们的色域边界特性, 了解与 CRT 显示器颜色色域的差异, 以及显示彩色图像时颜色失真的特点^[3]。

1 实验原理及方案

1.1 LCD 显示器的校准

LCD 显示器液晶粒子中染料的衰减速度比 CRT 型显示器中的荧光粉慢得多, 一般不易察觉, 但背光源的衰减很明显^[4]。对于 LCD 显示器来说, 唯一可以通

收稿日期: 2007-11-06

作者简介: 钟云飞(1975-), 男(白族), 湖南慈利人, 湖南工业大学讲师, 主要研究方向为印前处理, 虚拟现实, 计算机应用。

过硬件的变化进行调整的参数只可能是背光源的亮度。背光源在调整后就完全稳定下来,接下来的反差和色温的调节,则是对液晶粒子上下两个偏光板上施加的电压调节(即对液晶偏极透射率的调节)。因此,相应的调节效果不如CRT显示器电子枪信号调节的效果,调节的宽容度也不如CRT显示器那样大。

实验选用HPvs17e型LCD显示器。显示器在出厂时已校正过,但随着时间的推移、使用环境的变迁等原因仍需经常校正,显示器需要校正的量包括亮度与对比度、伽玛值、白平衡(色温)等。ISO3664:2000标准中,对在显示器上编辑数字图象的观察条件作了具体说明。白平衡的色温可根据具体要求选用标准照明体D65、C或其它合理的基准色温。这里结合彩色显示器的图像显示要求而选用D65标准照明体作为彩色显示器的白场标准,色温为6500 K,色度坐标是 $x=0.313$ 、 $y=0.329$ 、 $X_0=95.05$ 、 $Y_0=100.00$ 、 $Z_0=108.90$ ^[5]。同时考虑到彩色显示器模拟颜色的主要目的是人眼视觉评估和研究,故应使白平衡的最大亮度等于人眼视觉对白色的最高允许亮度主观评价值。在校准过程中,根据LCD显示器的特性,选择LCD显示器亮度值为140流明,将亮度调节到70%,对比度调整为100%。伽玛值的大小会影响图像高光与暗调的分布情况。MAC系统出于模拟打印效果的考虑,将转换表中的Gamma值设定为1.8,而Windows系统则认为2.2的数值更符合打印输出的效果^[6]。因此,针对不同的系统,应选择其默认的Gamma值。由于实验采用的是Windows XP, Gamma值采用系统默认值2.2。

1.2 试验数据的测试

1.2.1 测试仪器

- 1) 色彩管理软件: GretagMacbeth Eye-One math、Eye-One pro、measureTool;
- 2) 彩色LCD显示器(HPvs17e);
- 3) 电脑主机配置为: Pentium(R)4, CPU 2.93 GHz, 512 MB内存, 显卡NVIDIA GeForce MX4000;
- 4) 辅助测量图像处理软件: Photoshop CS。

1.2.2 试验数据方案的选择

1) LCD的RGB颜色空间是1个 $256 \times 256 \times 256$ 的立方体。为了更详尽地描述色域边界面的变化情况。采样点的选择采用了不均匀的分割方法:在边界面上每隔32取1个采样点,而在内部每隔48取1个采样点(0, 32, 64, 112, 160, 192, 224, 256),共选择了512个采样点($8 \times 8 \times 8=512$)。为了研究和分析数据的需要,采用Photoshop CS软件给定不同的RGB三刺激值,产生512个色块;

2) Eye-One pro测色仪测量并记录各个色块的RGB驱动值、 $L^*a^*b^*$ 值;

3) 在不同的时间、同一个环境下对同一个色块进

行同参数测量并记录数据;

4) 在同一时间对同一个色块在屏幕上的不同地方进行测量;

5) 测量仪器不动,对同一色块不同点的色彩数据进行测量和记录;

6) 将测量数据整理分类。

2 实验数据分析

2.1 显示器色域分析

通过实验,采用Eye-One math、Eye-One pro测得了HPvs17e液晶显示器的ICC profile文件,见图1。

由图1可以看出,LCD显示器的色域为一个比较规范的三角形,RGB驱动值与输出值之间成不完全的线性关系,相互之间存在干扰。尤其在高光区域,255的输入驱动值输出只有大约230的情况,高光部位的损失很大,因此尽量不要让LCD显示器高光条件下工作。在暗调部分出现交叉情况,通道的独立性不是很好,存在相互干扰。

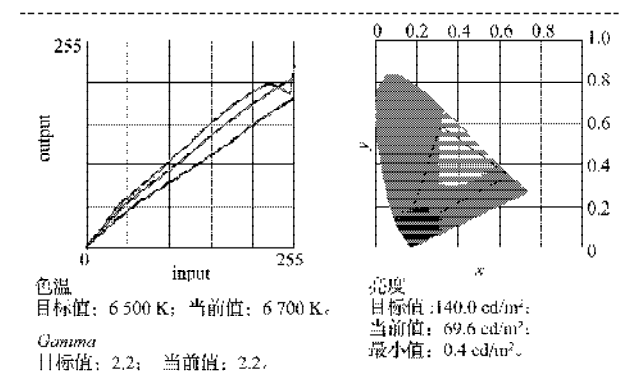


图1 HPvs17e显示器profile色域与色彩通道图

Fig. 1 Color gamut of HPvs17e display's profile and color channel image

我们通过实验,测得了HPvs17e LCD显示器大量色块的数据,在 xyY 色彩空间内利用Origin6.0软件,以 x 为横坐标、 y 为纵坐标,画出 $x-y$ 的关系图,便得到这个显示器的色域,如图2所示。

将图2与CIE1931色度图所给出的二维色域图进行比较,可发现LCD显示器的色域的确是三角形,且边缘比较规则,三角形的3个顶点分别是(255, 0, 0), (0, 255, 0), (0, 0, 255)。显示器的白点是(255, 255, 255),黑点是(0, 0, 0),但是LCD显示器中存在几个不在色域范围内的点——屏幕坏点。对1280×1024的屏幕来说,每个像素都由3个单元构成,分别负责红、绿和蓝色的显示,所以总共约需390万个单元($1280 \times 1024 \times 3 = 3932160$),所以很难保证在几百万的像素点中没有坏点,但随着LCD显示器面板制造工艺的不断提高,屏幕坏点的情况将会大大降低^[7]。

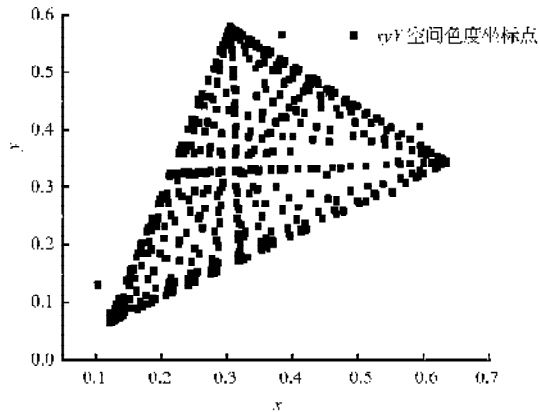


图2 HPvs17e 显示器的色域图

Fig.2 Color gamut of HPvs17e display

2.2 LCD 显示器通道独立性及相干误差分析

彩色显示器的色度测量所遵循的理论基础是三基色原理,或称三刺激值的可加性原理。从理论上说,三基色原理的正确性是无庸置疑的,其确定的条件是三通道相互独立,但实际的显示器三通道存在着相互干扰,而且还存在着黑点的影响,使色度合成过程中该原理未必完全成立^[8]。

2.2.1 测量数据的分析

1) 选择显示器的驱动参数红、绿、蓝分别为 64、160 和 224,以单通道值驱动偏光板,同时测量 LCD 显示器的 $L^*a^*b^*$ 值及其它参数,结果如表 1 所示。

表1 RGB 单通道驱动时的 $L^*a^*b^*$ 值Table 1 $L^*a^*b^*$ value drove by RGB single channel

测点	驱动值			三刺激值			色域坐标值	
	R	G	B	X	Y	Z	x	y
1	224	0	0	34.26	18.59	1.09	0.635 2	0.344 6
2	160	0	0	16.82	9.11	0.59	0.634 2	0.343 6
3	64	0	0	2.43	1.32	0.41	0.596 9	0.323 7
4	0	224	0	26.50	50.38	10.10	0.304 7	0.579 2
5	0	160	0	12.51	23.81	4.76	0.304 4	0.579 6
6	0	64	0	1.65	3.14	0.67	0.302 7	0.575 0
7	0	0	224	10.40	5.65	70.27	0.120 4	0.065 4
8	0	0	160	4.98	2.70	33.64	0.120 5	0.065 3
9	0	0	64	0.68	0.46	4.53	0.120 5	0.081 2

2) 根据表 1 的数据,采用叠加原理计算显示器的色度三刺激值,计算公式为式(1),计算结果见表 2。

3) 上述红、绿、蓝参数 64、160 和 224 的组合分别驱动显示器,用 Eye-One Pro 测量显示的 XYZ 值,将测量所得的结果列于表 2。

4) 计算相加原理所得的值和测量值之间的色差值,将计算结果也列于表 2 中。各计算公式为:

$$\begin{cases} X_{\text{计}} = X(R, 0, 0) + X(0, G, 0) + X(0, 0, B), \\ Y_{\text{计}} = Y(R, 0, 0) + Y(0, G, 0) + Y(0, 0, B), \\ Z_{\text{计}} = Z(R, 0, 0) + Z(0, G, 0) + Z(0, 0, B). \end{cases} \quad (1)$$

$$\Delta = \sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2 + (\Delta Z)^2}. \quad (2)$$

表2 RGB 取不同组合时显示器的 $L^*a^*b^*$ 测量值和计算值Table 2 Display's $L^*a^*b^*$ measurement value and calculated value when RGB varied

RGB 值			测量值			计算值			均值
R	G	B	X	Y	Z	X _计	Y _计	Z _计	Δ
224	224	224	71.13	74.59	81.23	71.16	74.62	81.46	0.24
160	160	160	34.38	35.71	38.89	34.31	35.62	38.99	0.15
64	64	64	4.75	4.81	5.22	4.76	4.92	5.61	0.40
224	224	160	65.67	71.65	44.64	65.74	72.11	44.83	0.50
224	224	64	61.32	69.19	15.62	61.44	69.43	15.72	0.28
224	160	224	57.23	48.12	75.90	57.17	48.05	76.12	0.24
224	64	224	46.29	27.35	71.87	46.31	27.38	72.03	0.16
160	224	224	53.60	65.03	80.55	53.72	65.14	80.96	0.44
64	224	224	39.20	57.21	80.10	39.33	57.35	80.78	0.71
224	160	160	51.77	45.16	39.35	51.75	45.1	39.49	0.16
224	64	64	36.45	21.98	6.17	36.59	22.19	6.29	0.28
160	160	224	39.79	38.65	75.47	39.73	38.57	75.62	0.18
64	64	224	14.45	10.09	70.98	14.48	10.11	71.35	0.38
160	224	160	48.24	62.16	44.12	48.30	62.19	4.33	0.22
64	224	64	29.56	52.03	14.69	29.61	52.16	15.04	0.38

2.2.2 实验结果分析

1) 由表 2 中的 XYZ 的计算值和测量值比较可知,显示器的三基色刺激值不满足完全的迭加定律。

2) 表 2 中的 XYZ 计算值要普遍略大于测量值,说明 RGB 三通道之间有相互抑制作用。

3) 由于“黑点”(R=G=B=0 时, X=0.25, Y=0.26, Z=0.29)的存在,又经过 3 次迭加,使 XYZ 计算值加大。因此,若除去黑点,误差将会变小。

4) 由于 LCD 显示器的光源大小是固定的,亮度不是很高,“白点”(R=255, G=255, B=255)的 XYZ 值为 X=94.1, Y=98.97, Z=107.78,均小于 D65 光源的 X=95.05, Y=100.00, Z=108.90。 $\Delta E=0.16$ 小于 3,对显示显色性能没有很大的影响。

5) 当 RGB 的值比较大,像 (64, 224, 224) 的 $\Delta=0.71$, (160, 224, 224) 的 $\Delta=0.44$, (224, 224, 160) 的 $\Delta=0.50$,而且亮度值 Y 也比较大时,误差值也比较大。这一结果证实,在较高亮度显示时,由于红绿蓝通道的取值较大,它们之间的相互影响作用也大。因此,为了避免产生大的相互干扰误差,应避免让显示器工作在高亮度区域。

2.2.3 小结

由于红绿蓝 3 个通道的相互抑制作用,3 个通道的色度合成过程并不完全满足叠加原理。因此,基于叠加原理建立的色度预测模型必然产生明显的预测误差。

实验结果表明,该误差随着显示亮度的增加而加大。而这种预测误差对于很多应用场合来说是不能接受的。因此有必要对传统色度预测模型进行改进,或

者寻求一种新的色度预测方法。

2.3 LCD 显示器的空间、时间均匀性分析

为了分析空间均匀性带来的误差,我们随机选择 $R=112$ 、 $G=64$ 、 $B=0$ 组合产生的色块,并让同一个色块在屏幕的不同位里上移动,然后测量其色度参数,数据见表3。我们发现它们有变化,且有的变化值较大,利用如下色差公式来计算平均色差^[9]:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (3)$$

由计算结果分析,由于LCD显示器采用的是背投光源,不需要偏转磁场,不受自身重力的影响。平均色差 $\Delta E=0.31 < 3$, 显示器的空间均匀性较好^[10]。

表3 同一色块在屏幕不同位置时的色度参数

Table 3 Chroma parameters of the same color block in the different position of the display screen

测点	$L^*a^*b^*$ 值			色度参数		
	L	a	b	X	Y	Z
1	25.0	15.3	20.6	0.06	4.42	1.71
2	24.9	16.4	23.6	0.06	4.38	1.41
3	24.7	16.1	23.9	0.06	4.32	1.35
4	24.9	16.1	23.4	0.06	4.38	1.42
5	24.9	16.1	23.9	0.06	4.38	1.38
6	24.9	16.1	23.7	0.06	4.38	1.40
7	24.8	15.8	23.3	0.06	4.35	1.42

注:表中 $R=112$, $G=64$, $B=0$, 计算得平均色差为 0.32。

时间均匀性是指液晶染料在光谱辐射下受时间变化的影响特性,检测显示器在长时间工作下的显色性能。

在实验中,我们使用爱色丽分光光度计,对同一 R 、 G 、 B 产生的色块分别在不同的时间、同一个地方进行测量,实验随机选用 $R=112$, $G=64$, $B=0$ 色块,记录数据见表4。

表4 同一 RGB 产生的色块同一个地方不同时间的参数值

Table 4 Parameters value of the same RGB color block in the same position when time varied

测点	$L^*a^*b^*$ 值			色度参数		
	L	a	b	X	Y	Z
1	24.3	15.8	23.3	0.05	4.19	1.34
2	24.6	15.8	23.0	0.06	4.29	1.41
3	24.4	15.8	23.6	0.05	4.22	1.33
4	24.5	16.2	24.6	0.06	4.26	1.26
5	24.6	15.9	23.9	0.06	4.29	1.33
6	24.6	16.2	23.2	0.06	4.29	1.40
7	24.6	15.7	22.8	0.06	4.29	1.43

注:表中 $R=112$, $G=64$, $B=0$, 计算得平均色差为 0.16。

结果表明:LCD型显示器中液晶粒子的染料的衰减速度慢。因此,LCD型显示器特性文件创建的频率也可适当延长,可以每1~2周创建一次。

3 结语

本文以彩色LCD显示器为研究对象,在对色彩显示器色彩管理中ICC标准及特征描述文件格式了解的基础上,利用8级非均匀分割的512个色块,用X-RITE色度计对每个色块进行了精确的、多参数的测量,然后利用实验所得的数据对显示器的显色特性进行了分析,得到了以下结论:

1) HPvs17e的色域是个三角形,边缘比较规则,与CIE1931色度图所给出的二维坐标色域图很接近,但高光部分损失较大,因此不适合在高光下显示图像;

2) 通道间的相互影响,会在亮调时产生相干误差,且该误差在去除“黑点”后可忽略不计;

3) 时间、空间均匀性较好,所产生的误差可以忽略不计。

总之,对显示器特性的分析和色空间转换方法的研究是对色彩管理系统与ICC标准接轨研究的起步,由于时间和条件的限制,还存在许多不足之处。另外,色彩学是一门主客观兼容的学科,色彩管理更是一个复杂的过程,且影响因素较多,任何一个环节出现问题,都会影响色彩的质量,因此对色彩管理的研究还有待深入。

参考文献:

- [1] 贺文琼. LCD显示器颜色特性文件质量分析[J]. 包装工程, 2006, 27(4): 41-42.
- [2] 田玉敏, 梁若莹. 计算机彩色输入输出设备常用颜色空间及转换[J]. 计算机工程, 2002, 28(9): 198-200.
- [3] 黄庆梅, 赵达尊, 郭婧, 等. LCD液晶显示器的颜色特性研究[J]. 光学技术, 2005, 31(2): 243-245.
- [4] 陈玉仑. 细说液晶与纯平显示器选购使用及检修窍门[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 182-240.
- [5] 何定邦. 印刷色彩学[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 2002: 102-103.
- [6] 梁炯. 色彩管理工艺手册[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2005: 24-25.
- [7] 王玉如. 液晶显示技术的最新进展[J]. 现代电子技术, 2004(22): 15-18.
- [8] 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(9): 12-14.
- [9] 刘浩学. CIE均匀颜色空间与色差公式的运用[J]. 北京印刷学院学报, 2003, 11(3): 3-8.
- [10] 陈宇, 丁铁夫. 显示量化误差对色域转换的影响[J]. 发光学报, 2004, 25(1): 98-102.

(责任编辑: 廖友媛)