

·光电系统·

LCD显示器三维色域测量和不同色空间应用对比

王凯, 吕毅军, 高玉琳, 林岳, 邓辉, 陈国龙, 陈忠

(厦门大学电子科学系, 福建省半导体照明工程技术研究中心, 福建 厦门 361005)

摘要:显示器的色域决定了显示器能够显示的颜色范围,且色域覆盖率也是显示器测试的一个重要参数。由于颜色三属性中包含亮度,所以对显示器进行色彩和色域测试时应该考虑亮度因素 Y ,这就需要在三维的色空间下进行分析。文中分析了LCD显示器背光源亮度对色域覆盖率和色饱和度的影响,以及色饱和度对色域覆盖率的影响。用MATLAB绘制出在不同的色空间中,运用不同计算公式所得到的三维色域分布,并就明度对色域面积和彩度的影响进行了分析和比较,CIEDE2000公式具有最好的效果,CIEL*a*b*公式第二,CIEL*u*v*效果最差。

关键词:显示器测试;色空间;三维色域;色域覆盖率;MATLAB

中图分类号:TN141.9

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2011)06-0018-04

3D Color Gamut Measurement of LCD Monitor and Evaluation in Different Color Spaces

WANG Kai, LV Yi-jun, GAO Yu-lin, LIN Yue, DENG Hui, CHEN Guo-long, CHEN Zhong

(Fujian Engineering Research Center for Solid-State Lighting, Department of Electronic Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: The color gamut determines the range of colors that the monitor displays, and the color gamut coverage rate is an important parameter in the quality evaluation of LCD monitor. As brightness is one of the three attributes of color, it should be considered when the color and color gamut are analyzed in 3D color space. The effect of the brightness of LCD backlight on color gamut coverage and color saturation is analyzed, and the effect of the color saturation on the color gamut coverage is also analyzed. 3D color gamut coverage is obtained by the different formulas in the different color spaces using MATLAB. The effect of the brightness on the color gamut area and chroma is analyzed and compared. The results show that CIEDE2000 formula is most suitable to evaluate the color of monitor among CIEDE2000 formula, CIEL*a*b* formula and CIEL*u*v* formula.

Key words: monitor measurement; color space; 3D color gamut; color gamut coverage; MATLAB

随着现代显示技术的迅速发展,平板电视和平板电脑显示器已经进入千家万户,人们对平板显示器的要求也越来越高,对显示器的评价也显得越来越重要。为满足高清晰度电视机或显示器的需要,各高端彩电或显示器生产企业,都在还原景物的原始彩色上进行设计,通过色域的改进,以使彩色更加

鲜艳^[1-3]。但是,如何测量彩色的数量仍是比较困难的。因此,人们通常用色域覆盖率表征显示器的彩色还原能力。

色域覆盖率越大^[4],则表示显示器能显示的色域范围越大,色彩的还原能力越强。由于颜色有亮度、色调和色饱和度三重属性,所以亮度对显示器的色

收稿日期:2011-11-29

基金项目:国家863计划重大专项(2006AA03A175);福建省重大专项(2006H0092);福建省自然科学基金(2008J0030)。

作者简介:王凯(1985-),男,硕士研究生,主要从事半导体照明检测和显示屏光学性质检测方面的研究;高玉琳(1969-),女,博士,副教授,主要从事半导体材料光学性质和半导体照明检测方面的研究。

域会产生影响。但是人们在计算色域覆盖率时,只在CIE1976 $u'v'$ 色平面内,这种二维度量的方式,缺少了亮度的信息,会使得计算结果不准确。所以需要包含亮度信息的三维色空间,更加方便表征色彩的三属性及它们之间的影响,方便分析RGB三色色饱和度对色域的影响。李彦^[5]、刘明亮^[6]等人分别使用CIEL^{*} u^*v^* 和CIE1931色空间进行三维色域分析,许宝卉^[7]运用CIEL^{*} a^*b^* 色空间进行显示器色域分析,CIEDE2000公式已被用于显示器的色差和明度阈值计算,而且较其他公式更为准确^[8-10]。CIEL^{*} u^*v^* 是CIELUV色空间中的计算公式,CIEL^{*} a^*b^* 和CIEDE2000是CIELAB色空间中的计算公式^[11],哪种色空间、哪种计算公式用于三维色域分析时受误差的影响较小,结果更准确,目前还少有报道,所以需要对不同色空间、不同公式在三维色彩分析的效果进行对比。

在显示器不同背光源亮度下,测量LCD显示器RGB三基色的色坐标,分析了亮度对色域、三基色色饱和度的影响,以及三基色色饱和度对色域的影响。同时,比较了CIEL^{*} u^*v^* 、CIEL^{*} a^*b^* 和CIEDE2000三个公式在描述和三维色域计算时的结果,以便于进行三维色彩研究时选用更加准确色空间模型和计算公式。

1 亮度对色域覆盖率和饱和度的影响

1.1 实验设备

实验测试系统如图1所示,主要由待测显示器、光学测试设备、信号源和计算机组成,其中光学测试设备主要包括德国IS公司制造的LC1300型亮度色度计,它能够通过CCD拍摄单元测量待测物体的亮度及颜色。

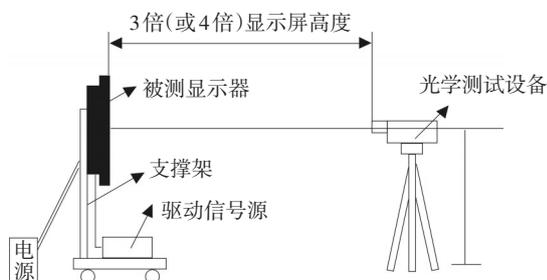


图1 测试系统图

测试时,调节LC1300亮度色度计,使其光轴与

显示屏中心区域正交垂直;距待测显示器的距离为3~4倍显示器屏幕高度,接收孔径角 $\theta_i \leq 2^\circ$,到待测显示器测量区域的孔径角 $\theta_r \leq 2^\circ$,并调节其光圈大小,以保证CCD感光面不出现饱和状态。测量过程在暗室中进行,杂散光照度小于或等于1lx。

分别在3个基色RGB的全场信号,测量 (u',v') 坐标:对红色R表示值为 (u_r',v_r') ;对绿色G表示值为 (u_g',v_g') ;对蓝色B表示值为 (u_b',v_b') ,然后计算R、G、B三角形的面积 S_{rgb} ,用下列公式进行计算

$$S_{rgb} = \frac{1}{2}[(u_r' - u_b')(v_g' - v_b') - (u_g' - u_b')(v_r' - v_b')] \quad (1)$$

色域覆盖率用 C_p 表示,则为被测设备色域的面积(RGB)三角形的面积,除以人眼可见光谱的最大面积 $0.1952^{[11]}$,乘以100%。

$$C_p = \frac{S_{rgb}}{0.1952} \times 100\% \quad (2)$$

1.2 亮度对色域覆盖率的影响

实验测试对象为长城LCD液晶显示器,型号为L7BG4,利用信号发生器,分别输入全红场、全绿场、全蓝场和全白场信号,并以全场白信号的明度来表征背光源亮度信息。调节显示器亮度,计算得到CIE $u'v'$ 色平面内色域覆盖率随白信号明度关系如图2所示。

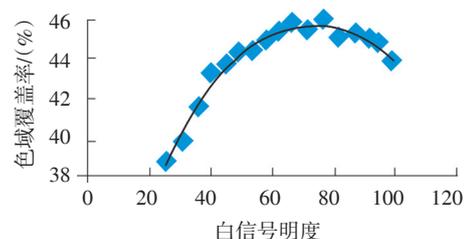


图2 色域覆盖率随白信号明度变化曲线

从图2中可以看出,白信号明度值在65~80明度范围内的色域覆盖率达到最大值,即此时的色域面积最大。所以在使用显示器时,要在中高明度范围内,才能达到最好的显示效果。在不同的白信号明度下,正是因为RGB三色色坐标,即色域三角形三个顶点位置都发生了变化,使得色域面积和色域覆盖率发生变化。

1.3 亮度对色饱和度影响及饱和度与色域覆盖率关系

为分析三色色坐标变化对色域覆盖率的影响,以饱和度参量的变化来表征三色坐标位置变化,

$$S = \sqrt{(u' - u_n')^2 + (v' - v_n')^2} \quad (3)$$

其中参考白点色坐标为 D65 标准光源色坐标。得到不同白信号明度下三色饱和度的变化曲线,如图3所示。

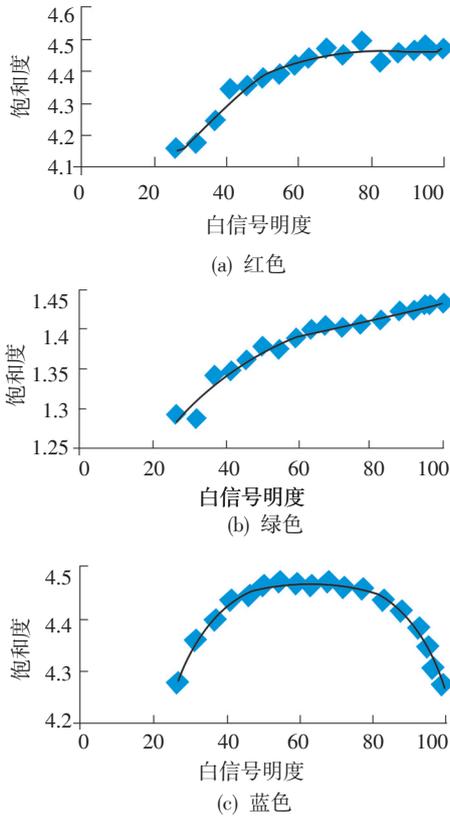


图3 RGB饱和度随明度变化曲线图

由于显示器背光源为白光LED,根据颜色相加原理,白光本身是由RGB三色光组成,所以白光明度的改变会改变RGB三色的配比,从而改变三色色坐标位置和饱和度。为得到RGB三色色饱和度对色域覆盖率的影响,运用多元线性回归的方法,对色域覆盖率和RGB三色色饱和度进行拟合。得到以下结果

$$C_p = 8.81S_r + 8.98S_g + 8.08S_b - 43.89,$$

$$R^2 = 0.9997$$

式中, C_p 为色域覆盖率, S_r, S_g, S_b 表示三色色饱和度,拟合的结果表明色域覆盖率和RGB色饱和度是线性叠加关系。将图3与图2进行比较发现,在高明度范围,由于蓝色饱和度降低,使得色域覆盖率下降。所以要使得显示器在高明度条件下色域面积不减小,就要提高蓝色饱和度。

2 不同色空间三维色彩分析的比较

为比较不同的色空间、计算公式对色彩三维分

析性能,运用 CIEL*u*v*、CIEL*a*b* 和 CIEDE2000 公式,分析明度对色域面积和颜色彩度(chroma)的影响,并将它们计算的结果,在 MATLAB 中画出三维色域分布图,如图4、图5、图6所示。

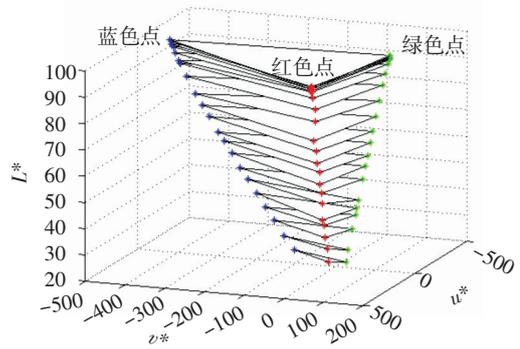


图4 CIEL*u*v*色域分布图

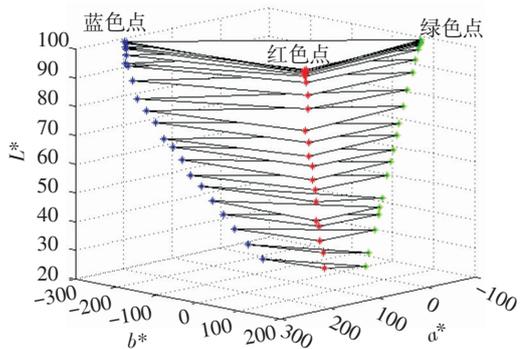


图5 CIEL*a*b*色域分布图

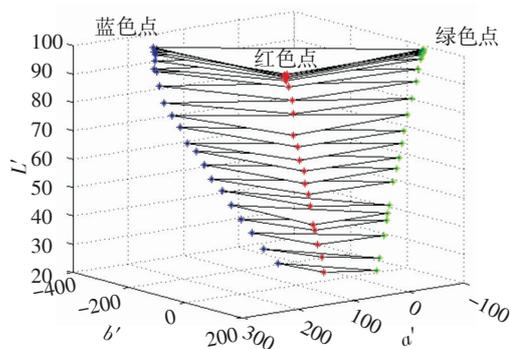


图6 CIEDE2000色域分布图

由图4、图5、图6可以看出,在高明度区间, CIEL*u*v* 的色域面积要大于 CIEDE2000 和 CIEL*a*b*, 且蓝色在色空间中的分布轨迹也不相同。图5、图6中蓝色的轨迹在高明度区间向色域体的中央主轴偏移,说明彩度下降。而图4中的轨迹并未发生明显变化,说明 CIEDE2000 和 CIEL*a*b* 能够更好地反应在

高明度区间,蓝色由于饱和度降低而引起的彩度减小,即CIEL*a*b*色空间在表征彩度的变化方面要好于CIEL*u*v*色空间。

通过计算,得到色域面积受明度影响变化曲线,如图7所示。

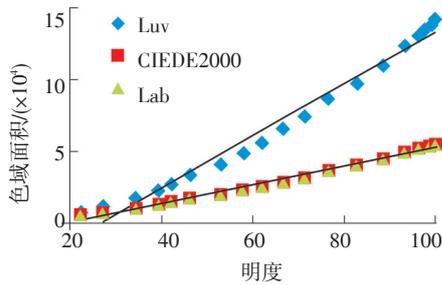
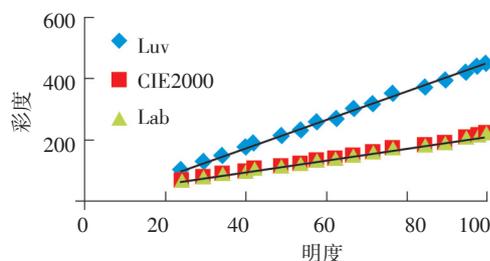


图7 色域面积随明度变化曲线

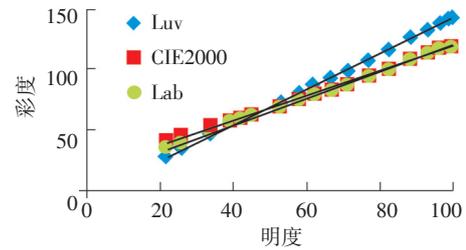
图7中,色域面积与明度均呈线性关系,其中CIEDE2000和CIEL*a*b*的直线拟合几乎重合。从各个公式拟合直线的斜率大小可以看出,CIEL*u*v*计算的直线斜率要远大于其在CIE2000和CIEL*a*b*,即使用CIEL*u*v*计算的色域面积受明度影响的程度要大于其余两个公式,也说明CIEL*u*v*色空间中的色域面积受明度影响的程度要远大于CIEL*a*b*色空间。

从图7中还可以看出,CIEDE2000和CIEL*a*b*线性拟合度大于CIEL*u*v*,说明在CIEL*a*b*色空间中,色域面积随明度的变化更加均匀。CIEDE2000直线的斜率最小,在三维分析时,由亮度引起的测量和计算误差也要小于CIEL*u*v*。而CIEDE2000和CIEL*a*b*之间的差别不大。

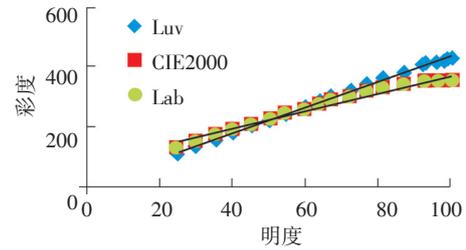
文中还对明度对RGB彩度影响进行了分析,如图8所示。结果表明3个公式计算得到的彩度与明度之间基本上都呈线性关系。对其进行线性拟合,可以看出对RGB三色的拟合直线,CIEL*u*v*得到的直线斜率均大于CIEDE2000和CIEL*a*b*的斜率,说明CIEL*u*v*色空间中明度对彩度的影响要大于CIEL*a*b*色空间,而CIEDE2000和CIEL*a*b*两个公式,除了在绿色的低明度区间外,明度对彩度的影响几乎一致。



(a) 明度对红色彩度的影响曲线



(b) 明度对绿色彩度的影响曲线



(c) 明度对蓝色彩度的影响曲线

图8 明度对三色彩度影响曲线

为验证和比较3个计算公式受仪器误差的影响,在同一白信号明度(即显示器背光源亮度)下,在显示器上任意取10个点,由于显示器本身和仪器的测量误差,这10个点的亮度并不完全相同,分别测量这10点的RGB色坐标,并计算色域面积和RGB与D65的色差,得到3个色空间下计算的标准差,如表1、表2。

表1 不同色空间中计算结果比较

色空间	色差		
	红色色差	绿色色差	蓝色色差
CIEL*u*v*	6.272	4.639	4.887
CIEL*a*b*	1.942	3.405	2.348
CIEDE2000	1.933	3.366	2.347

表1中,RGB三色色差计算结果的标准差也远远大于CIEDE2000,说明CIEDE2000受明度误差影响较小,计算的结果较CIEL*u*v*更加稳定。而CIEL*a*b*与CIEDE2000的计算结果大体相同。

表2 不同色空间中色域面积计算结果比较

NO	CIEL*u*v*	CIEDE2000	CIEL*a*b*
1	31 662.47	16 202.92	16 179.16
2	32 033.83	16 379.73	16 361.22
3	31 955.08	16 269.8	16 250.42
4	29 814.91	15 538.67	15 515.09
5	30 375.44	15 771.32	15 749.56
6	30 238.55	15 594.62	15 572.27
7	25 830.64	14 017.77	13 985.26
8	26 309.34	14 208.33	14 177.6
9	26 067.35	13 998.35	13 964.55
10	28 099.33	14 883.18	14 857.87
S	2 477.494	942.194 9	947.345

(下转第32页)

Y,Rivet J PLattice GasHydrodynamics in Two and Three Dimensions[J]. Complex Systems,1987(1):694-707.

[13] Tsutahara M,Feng S.Simulation of the Stratified Flows Us-

ing the Two-ComponentLattice Boltzman Method [J]. Comput Phys Commun,2000(129):131-137.

(上接第13页)

[7] LCoS-Microdisplay Technology and Applications.SID 2000.

[8] Stephen P, Atwood , Kenneth A.Optical System Design Chal-

lenge for High Vollume Reflective LCoS[J] , MicroDisply Inspection, 2001.

(上接第21页)

表2中, S 为标准差,CIEL $^*u^*v^*$ 计算得到的色域面积标准差几乎是CIEDE2000和CIEL $^*a^*b^*$ 的3倍,表明CIEL $^*u^*v^*$ 色空间受明度的影响较大。

综上,对显示器进行三维色彩分析时,无论是色域面积的计算,还是色彩彩度和色差的计算,CIEL $^*u^*v^*$ 计算结果受明度的影响大,若测量环境光源不稳定或者亮度计的精度不高,都会对测量结果产生比较大的影响。而CIEDE2000与CIEL $^*a^*b^*$ 并没有太大差别,但是CIEDE2000公式在色差阈值和明度阈值计算方面要优于CIEL $^*a^*b^*$ 。所以,对于精度要求较高的测量,应该选用CIEL $^*a^*b^*$ 色空间,并使用CIEDE2000公式计算。

3 结论

文中对不同背光源亮度下LCD显示器的RGB三色色坐标进行了测量,分析了亮度对显示器色域覆盖率和色饱和度的影响,并就三维色域分析色空间模型的选取进行了分析和比较,结果表明:

(1)当显示器明度为中高明度时,LCD显示器色域覆盖率最大,红色与绿色的色饱和度随背光源明度的增强而增大,蓝色色饱和度呈先增大后减小的趋势。色域覆盖率大小与RGB三色饱和度成线性关系,且三者的影响权重相差不大。要使得显示器在高明度条件下色域面积不减小,就要提高蓝色色饱和度。

(2)在对显示器色彩进行三维分析时,CIELUV色空间受明度的影响大,结果误差较大。CIELAB色空间受明度的影响较小,CIEDE2000和CIEL $^*a^*b^*$ 二者

计算的结果并没有太大差别,但是CIEDE2000在最小色差和明度阈值计算方面要优于CIEL $^*a^*b^*$,对于精度要求较高的测量和分析,应该选用CIEDE2000公式。

参考文献

- [1] Chih-Hao Chang, Hsing-Chieh Cheng, Yin-Jui Lu, et al. Enhancing color gamut of white OLED displays by using micro-cavity green pixels[J]. Organic Electronics,2010,11: 247-254.
- [2] Wei Huang, Jie-MinLi, Li-MeiYang, et al. Local dimming algorithm and color gamut calibration for RGB LED backlight LCD display[J]. Optics & Laser Technology, 2011,43: 214-217.
- [3] 许祖彦.大色域显示——新一代显示技术[J]. 物理, 2010, 39(4):227-231.
- [4] 刘全恩.色域及色域覆盖率[J].电视技术,2004(11):49-54.
- [5] 李彦,徐岩,李桂苓.高清晰电视系统三维色域研究[J].南开大学学报,2011,44(1):30-35.
- [6] 刘明亮,王永宁,朱海红.彩色CRT显示器呈色域的确定[J]. 武汉测绘科技大学学报,1997,22(2):151-155.
- [7] 许宝卉.CRT与LCD显示器色域特性研究[J]. 应用光学, 2011, 32(3):417-419.
- [8] 黄敏,廖宁放,刘浩学,等.颜色视觉匹配中显示器颜色色差阈值的评价[J]. 光学学报,2008,28(3):599-603.
- [9] 汪哲弘,徐海松.用阴极射线管显示器研究辨色阈值II:典型色差公式评价[J]. 光学学报,2007,27(7):1344-1348.
- [10] 汪哲弘,徐海松.颜色视觉匹配中明度阈值的评价[J]. 光学学报,2006,26(8):1273-1277.
- [11] János Schanda. Colorimetry: understanding the CIE system [M]. Canada: John Wiley & Sons,2007:79-97.