

液晶显示器颜色局部特性化研究

洪建华, 王晓红

(上海理工大学, 上海 200093)

摘要:目的 在液晶显示器上小范围内精确地控制颜色的显示。方法 实验选择国际照明委员会推荐的5个基本颜色中心,使用线性插值的方式在各颜色中心小范围内建立三维查找表,实现小范围内精确控制液晶显示器颜色显示的目的。结果 该方法对 L^* , a^* , b^* 的控制精度分别为0.05, 0.08和0.03,对色差的控制精度是 $0.18 \Delta E_{ab}$ 个色差单位。结论 使用小范围内建立三维查找表的方式可以实现小范围内更精确显示颜色的目的,为在液晶显示器上实现颜色视觉评价提供特性化基础。

关键词:色度学; 颜色特性化; 查找表; 液晶显示器

中图分类号: TS801.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2016)01-0139-03

Local Characterization of Color on the Liquid Crystal Display

HONG Jian-hua, WANG Xiao-hong

(Shanghai University of Science and Technology, Shanghai 200093, China)

ABSTRACT: The aim of this study was to precisely control the color display in a small range on liquid crystal displays. The experiment chose the five basic color centers from CIE as the experimental color centers and used a linear interpolation method to establish the 3-dimension look-up table in a small range around color centers to achieve precise control of color display. With this method, the control accuracy of L^* , a^* , b^* was 0.05, 0.08 and 0.03 respectively, and was 0.18 for color difference of CIELAB. The establishment of 3-dimension look-up table around color centers in a small range can achieve more accurate display of color in a small range, providing a basis of characterization for the realization of color visual evaluation on the liquid crystal display.

KEY WORDS: chromaticity; color characterization; look-up table; liquid crystal display

液晶显示器的颜色特性化模型有很多^[1-5],如张显斗等人提出的分段分空间模型, Po-Chieh Hung提出的三维查找表(3D-LUT)模型。这些模型中精度最高为3D-LUT的 $0.83 \Delta E_{ab}$ 色差单位,其他都在1个 ΔE_{ab} 色差单位以上。随着计算机的快速发展,近年来一些精确的颜色和视觉评价实验都在显示器上进行^[6-10],这些实验由于精度很高,所以对显示器的特性化精度提出了更高的要求。另外,这些实验大多是在某个颜色中心小范围内进行的,为了实现在某个颜色中心小范围内精确控制显示颜色和色差,实验使用建

立小范围内查找表的方式在液晶显示器上实现液晶显示器的局部特性化。局部特性化相对于全局特性化,是指对某个颜色中心小范围内进行特性化。使用这种局部特性化的方式,可以实现在小范围内精确控制液晶显示器的显示颜色及色差,从而为颜色和视觉评价实验在液晶显示上实现提供特性化基础。

1 局部特性化方法

如果液晶显示器能很好地满足色品恒定性和通

收稿日期: 2015-05-18

基金项目: 上海市研究生创新基金(JWCXSL1402)

作者简介: 洪建华(1991—),男,安徽芜湖人,上海理工大学硕士生,主攻颜色复制、色彩管理和色差评价。

通讯作者: 王晓红(1971—),女,陕西汉中,博士,上海理工大学教授,主要研究方向为色彩管理和印品质量控制。

道独立性^[1],那么可以使用2个阶段模型来进行颜色特性化^[2],但是液晶显示器的色品恒定性和通道独立性并不理想^[5],因而在对液晶显示器特性化时需要考虑色品恒定性和通道独立性的影响。

一般特性化实验是在暗室中进行的,采用公式(1)。

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{r,\max} & X_{g,\max} & X_{b,\max} \\ Y_{r,\max} & Y_{g,\max} & Y_{b,\max} \\ Z_{r,\max} & Z_{g,\max} & Z_{b,\max} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{blackpoint measurement}} \quad (1)$$

式中: r, g, b 为归一化的亮度,可以由LUT查找表得到数字驱动值和它们的对应值。式(1)中没有直接考虑液晶显示器通道独立性的影响,直接采用它进行特性化达不到精确控制颜色和色差的要求,因而本实验使用小范围内建立查找表^[3]的方式进行颜色特性化。实验步骤:选择液晶显示器色域范围内的颜色作为特性化的颜色中心,记录 R_0, G_0, B_0 ,并测量其对应的 X_0, Y_0, Z_0 值;选择一个固定步长,分别以3个通道的数字驱动值为中心做小范围内的改变,制作成色块测量其三刺激值,建立每个通道的查找表;任意组合3个单独通道的数字驱动值,见式(2)~(3)。

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_R + X_G + X_B \\ Y_R + Y_G + Y_B \\ Z_R + Z_G + Z_B \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{difference}} \quad (2)$$

其中中心色度差计算公式为:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{difference}} = \begin{bmatrix} X_{R0} + X_{G0} + X_{B0} \\ Y_{R0} + Y_{G0} + Y_{B0} \\ Z_{R0} + Z_{G0} + Z_{B0} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

中心色度差是3个通道单独作用三刺激值之和与同时作用产生的三刺激值之差,表征了在颜色中心小范围内三通道相互干扰的程度。实验具体采用步长为1,每个通道9组数据,建立CIEXYZ和3个通道的插值表,再对每个数字驱动值之间进行0.25插值,各通道相互组合产生274 625组数据的三维查找表。保存查找表用以生成色块。

2 实验

文中在周围是标准灰墙壁的暗室中进行。液晶显示器为EIZO CG246专业显示器,尺寸为24.1英寸,分辨率为1920×1200像素,使用了1年,大约为2000 h,保持在新机状态。显卡为NAVDIA Quadro 2000, RGB单通道显存数字化位数都为10 bit。测量使用光谱辐射度计CS-2000。实验色块大小为13 cm×13 cm,实验时显示在显示器中央,周围为黑色背景。计算采用参考白场为D65光源2° 观察者标准数据: $X_n=95.017, Y_n=100, Z_n=108.813$ 。

实验选择了CIE推荐的5个基本颜色中心^[4]作为特性化颜色中心,其目标值和测量值及对应的 R_0, G_0, B_0 值见表1。5个颜色中心的目标值和测量值色差都在0.2个 ΔE_{ab} 色差单位以下,说明颜色中心的显示准确性和显示器稳定性都较好。

在每个颜色中心周围小范围内选择24个颜色作为测试颜色,实验共120个测试颜色。在颜色中心小范围内给定一组颜色刺激 $L^*a^*b^*$ 值作为预测值,把这些值转到XYZ空间并通过以该颜色为中心的查找表得到对应的数字驱动值,做成色块后测量XYZ值,然后转到CIEL*a*b*空间,与预测值作比较,计算出 $\Delta L^*, \Delta a^*, \Delta b^*$ 及相应的色差。计算出每个颜色中心24个颜色 $\Delta L^*, \Delta a^*, \Delta b^*$ 及相应色差的平均值和标准偏差见表2。计算过程中对测量数据做黑点处理^[5],以提高特性化的精度。

从表2中可以看出,5个颜色中平均色差最大的为Blue颜色中心的0.30个 ΔE_{ab} 色差单位,最小为Red和Yellow颜色中心的0.13个 ΔE_{ab} 色差单位,并且标准方差都在0.025以下,说明每个颜色中心的测试色样色差值均在平均色差附近,波动较小。5个颜色中心的 $\Delta L^*, \Delta a^*, \Delta b^*$ 的平均色差分别为0.05,0.08和0.03个 ΔE_{ab} 色差单位,标准方差分别为0.008,0.025和0.017,说明 $\Delta L^*, \Delta a^*, \Delta b^*$ 很小且稳定。

表1 5个颜色中心的目标和测量 $L^*a^*b^*$ 值、色差及 R_0, G_0, B_0

Tab.1 The target and measurement $L^*a^*b^*$ value, color difference and R_0, G_0, B_0 of the five color centers

颜色中心	给定 $L^*a^*b^*$ 值			测量 $L^*a^*b^*$ 值			ΔE_{ab}	R_0	G_0	B_0
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*				
Blue	35.60	4.83	-30.18	35.62	4.68	-30.23	0.16	66.64	84.82	129.25
Gray	61.65	0.11	0.04	61.62	0.26	0.00	0.15	147.38	147.24	146.86
Green	56.09	-32.13	0.44	56.12	-32.29	0.51	0.18	95.49	144.81	131.06
Red	44.38	36.91	23.33	44.38	36.95	23.30	0.05	145.93	83.22	71.87
Yellow	86.65	-6.92	47.15	86.63	-7.06	47.26	0.18	227.92	216.63	130.10

表2 120个颜色的预测值与测量值的 L^*, a^*, b^* 及预测精度

Tab.2 The predicted value and the measured value of L^*, a^*, b^* and prediction accuracy of the 120 colors

颜色	色差 (ΔE_{ab})				ΔL^*		Δa^*		Δb^*	
	平均值	标准方差	最小值	最大值	平均值	标准方差	平均值	标准方差	平均值	标准方差
Blue	0.30	0.025	0.10	0.54	0.06	0.006	0.26	0.026	0.11	0.015
Gray	0.20	0.020	0.06	0.49	0.06	0.017	0.05	0.028	0.00	0.027
Green	0.15	0.012	0.07	0.26	0.07	0.006	0.02	0.026	0.01	0.013
Red	0.13	0.014	0.01	0.35	0.01	0.004	0.03	0.024	0.01	0.018
Yellow	0.13	0.011	0.03	0.27	0.03	0.005	0.05	0.021	0.01	0.013
平均值	0.18	0.016	0.05	0.38	0.05	0.008	0.08	0.025	0.03	0.017

5个颜色中心及周围120个颜色的预测值和测量值在CIELab中 a^*-b^* 平面上的分布见图1。由图1可以看出,每个颜色中心周围测试色样的预测值和测量值

基本都在一起,说明局部特性化液晶显示器是可行的,且精度很高。

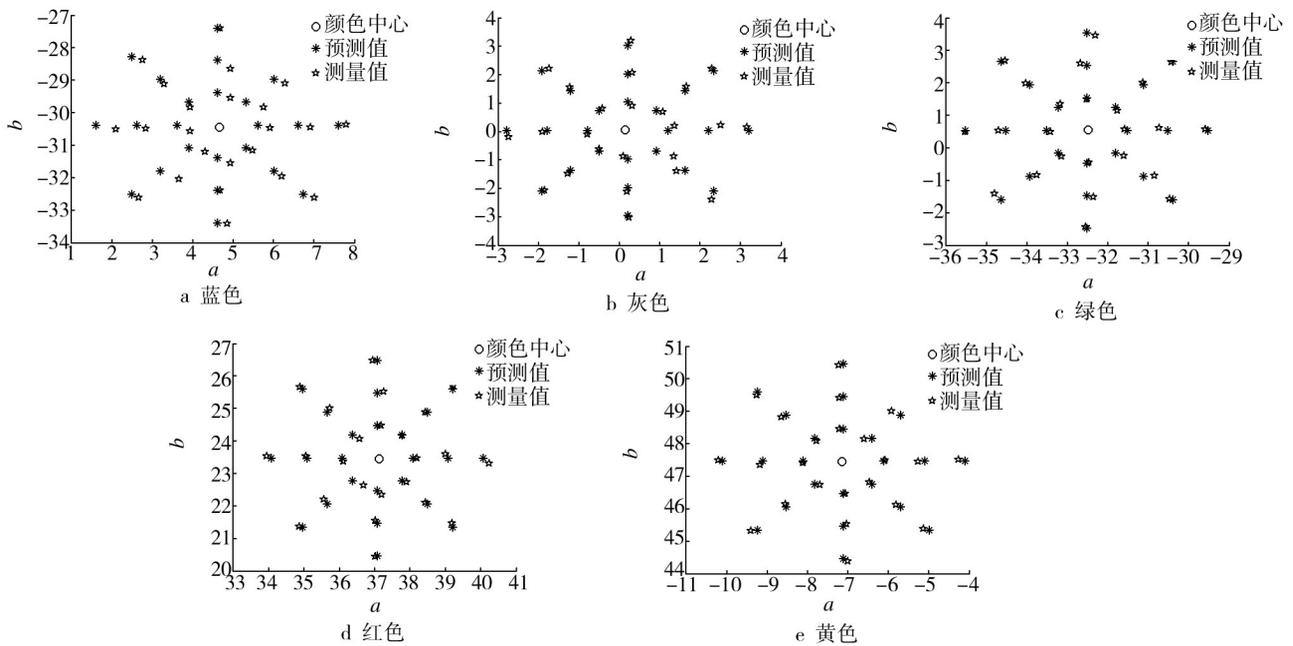


图1 5个颜色中心及120个颜色的预测值和测量值在CIELab中 a^*-b^* 平面上的分布

Fig.1 Distribution of predicted values and measured values of five color centers and 120 colors on the CIELab a^*-b^* plane

3 结语

实验使用小范围内建立三维查找表的方法对液晶显示器上颜色中心进行了局部特性化,对 L, a, b 的控制精度分别为0.05,0.08,0.03。色差平均值、最小值、最大值控制精度分别为0.18,0.05,0.38个 ΔE_{ab} 色差单位。与全局特性化的0.83个 ΔE_{ab} 色差单位相比,可以看出小范围内建立查找表局部特性化颜色中心的方法可以更加精确地控制颜色。局部特性化方法为在液晶显示器上进行颜色视觉评价实验提供了特性化基础。

参考文献:

- [1] HUNG P C. Colorimetric Calibration in Electronic Imaging Devices Using Look-up-table Model and Interpolations[J]. J Electronic Imaging, 1993, 2(1): 53—61.
- [2] NOBUHIKO T, NORIMICHI T, YOICHI M. Masking Model for Accurate Colorimetric Characterization of LCD[J]. Journal of the Society for Information Display, 2003, 11(2): 1—7.
- [3] WEN S, WU R. Two-primary Crosstalk Model for Characterizing Liquid Crystal Displays[J]. Color Research and Application, 2006, 31(2): 102—108.
- [4] YOUNGSHININ K, LINDSAY W. Macdonald. Accurate Prediction of Colours on Liquid Crystal Displays[C]// Color and

- capacity of Information Hiding[J]. Application Research of Computer, 2005(3):116—134.
- [9] JAIN A. Fundamentals of Digital Image Processing[M]. Upper Saddle River:Prentice Hall, 1989.
- [10] 邹小林,冯国灿. 基于韦伯定律的过渡区提取及阈值分割[J]. 科学技术与工程, 2013, 13(5):4217—4221.
ZHOU Xiao-lin, FENG Guo-cai. Weber's Law-based Transition Region Extraction and Thresholding[J]. Science Technology and Engineering, 2013, 13(5):4217—4221.
- [11] 孙娜娜,刘鑫. 图像显著性检测方法解析[J]. 现代电子技术, 2014, 37(22):1—5.
SUN Na-na, LIU Xin. Analysis for Method of Image Saliency Detection[J]. Modern Electronics Technique, 2014, 37(22):1—5.
- [12] 景慧响,韩琦,牛夏牧. 显著区域检测算法综述[J]. 智能计算机与应用, 2014, 4(1):38—44.
JING Hui-yun, HAN Qi, NIU Xia-mu. Survey of Salient Region Detection Algorithms[J]. Intelligent Computer and Applications, 2014, 4(1):38—44.
- [13] CHENG Ming-ming, ZHANG Guo-xin, NILOY J M, et al. Global Contrast Based Salient Region Detection[C]// IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2011:409—416.
- [14] 王天马,王琪,刘洪豪. 分通道相位调制潜像法防伪效果的评价[J]. 包装工程, 2015, 36(5):117—121.
WANG Tian-ma, WANG Qi, LIU Hong-hao. Evaluation of Latent Image Anti-counterfeiting Effect Based on Sub-channel Phase Adjustment[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(5):117—121.
- [15] LEGGE G E, FOLEY J M. Contrast Masking in Human Vision[J]. JOSA, 1980, 70(12):1458—1471.
- [16] HECHT S. The Visual Discrimination of Intensity Mid the Weber-Fechner Law[J]. The Journal of General Physiology, 1924, 7(2):235—267.
- [17] 胡安洲. 主客观一致的图像感知质量[D]. 合肥:中国科学技术大学, 2014.
HU An-zhou. Research on Subjectively-consistent Objective Image Quality Assessment[D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2014.
- [18] ACHANTAR, HEMAMI S, ESTRADA F, et al. Frequency Tuned Salient Region Detection[C]// IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2009: 1597—1604..

(上接第141页)

- Imaging Conference, 2001:355—359.
- [5] 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—1724.
ZHANG Xian-dou, XU Hai-song. Piecewise Partition Model of Color Characterization on Liquid Crystal Display[J]. Acta Optica Sinica, 2007, 27(9):1719—1724.
- [6] GUAN S S, LUO M R. Investigation of Parametric Effects Using Small Colour-differences[J]. Color Research and Application, 1999, 24(5):331—343.
- [7] XU Hai-song, HIROHISA Y, SATOSHI S. Correlation between Visual and Colorimetric Scales Ranging from Threshold to Large Color Difference[J]. Color Research and Application, 2002, 27(5):349—359.
- [8] GARRETT M J, MARK D F. Measuring Images: Differences[J]. Proceedings of SPIE, 2003, 5007:51—60.
- [9] MONTAG E D, BERNS R S. Lightness Dependencies and the Effect of Texture on Suprethrehold Lightness Tolerances[J]. Color Research and Application, 2004, 29(5):374—380.
- [10] 汪哲弘,徐海松. 用阴极射线管显示器研究辨色阈值I:实验数据及人眼颜色视觉特性分析[J]. 光学学报, 2007, 27(7):1139—1143.
WANG Zhe-hong, XU Hai-song. Study on Color Discrimination Threshold Using CRT Display Part I: Analysis of Experimental Data and Human Color Vision Characteristics[J]. Acta Optica Sinica, 2007, 27(7):1139—1143.
- [11] 司占军,胡媛,张显斗. 专业显示器性能测试方法研究[J]. 包装工程, 2012, 33(5):102—106.
SI Zhan-jun, HU Yuan, ZHANG Xian-dou. Study on Performance Testing Method of Professional Display[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(5):102—106.
- [12] WANG Yong, XU Hai-song. Colorimetric Characterization of Liquid Crystal Display Using an Improved Two-stage Model[J]. Chinese Optics Letters, 2006, 4(7):432—434.
- [13] 杨健,石俊生,黄小乔. 小范围内精确控制CRT显示颜色和色差的研究[J]. 光学技术, 2007, 33(4):569—571.
YAN Jian, SHI Jun-sheng, HUANG Xiao-qiao. Study on the Color and Color Difference Control on CRT Display in Small Scale[J]. Optical Technique, 2007, 33(4):569—571.
- [14] ROBERSTON A R. CIE Guidelines for Coordinated Research on Colour-difference Evaluation[J]. Color Research and Application, 1978, 3(3):149—151.
- [15] BERNS R S, FERNANDEZ S R, LAPLIN L E. Black Level Emissions of Computer-controlled Displays[J]. Color Research and Application, 2003, 28(5):379—383.