

文章编号:1006-6268(2010)05-0139-04

基于颜色匹配算法 全彩 LED 显示颜色偏差分析

郝亚茹¹, 王瑞光^{1,2}, 陈宇^{1,2}, 郑喜凤^{1,2}

(1. 长春希达电子技术有限公司, 吉林长春 130103;

2. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林长春 130033)

摘要: LED 采用颜色匹配修正后仍存在色域空间偏差, 偏差量值影响着校正后 LED 显示屏显示的均匀度。文章介绍颜色匹配算法, 并分析将该算法应用于实际中时产生的误差, 然后利用标定色差值对量化精度、显示灰度值以及颜色偏差之间的关系进行探讨。

关键词: 颜色匹配算法; 量化精度; 显示灰度值; 颜色偏差

中图分类号: TN312+.8 **文献标识码:** B

The Analysis of the Deviation Based on Color Matching Algorithm in the Field of Full-color LED Display

HAO Ya-ru¹, WANG Rui-guang^{1,2}, CHEN Yu^{1,2}, ZHENG Xi-feng^{1,2}

(1. Changchun xida Electronic Technology Co., Ltd., Changchun Jilin 130103, China;

2. Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Changchun, CAS, Changchun Jilin 130033, China)

Abstract: During the color gamut transformation process, the quantization error and the truncation error existed. As a result, the deviation between the transformed color gamut and the standard color gamut was produced, if the deviation was beyond the color tolerance, the uniformity of the screen color will be affected. This paper presented the correlations of quantization and the different gray value for color gamut according to the values the relationship of the quantization precision.

Keywords: color matching algorithm; quantization precision; gray value; the color difference

引言

目前, LED 显示屏的应用越来越广泛, 同时对 LED 显示效果提出越来越高的要求, 尤其是 LED 显示屏显示一致性的问题备受关注^[1-3]。解决此问题有

几种方法: (1) 筛选 LED; (2) LED 杂乱排列; (3) 电阻调节。方法(1)为较广泛采用的方法, 该方法虽然可使显示器的均匀性提高, 但是成本也大幅提高, 而且每个像素亮度随时间的衰减速度各不相同, 一两年内, 各像素亮度将无法保持一致; 方法(2)虽然可消除大面积的“马赛克”, 但实际上并未改善屏幕不

均匀度,反而产生更多“麻点”噪声;方法(3)只是使模块间亮度有所改善,效果不理想,而且耗时费力。

针对以往的方法,提出了一种新的方法^[4],该方法是通过对一种算法来改善显示屏的均匀性程度,且该算法需要用到显示屏上的亮度和色度信息,就目前来看,已有相关的设备对其进行采集,此算法称为颜色匹配算法,源于色域转换理论^[5-7]。目前,该算法是业界关注最多的一种方法。然而该方法的实际价值,即对利用该算法后显示屏的一致性误差分析,到目前为止,并没有相关的报导。本文针对此问题展开分析,主要抓住该算法中关键参数在量化以及数字化实现过程存在的误差,探讨转换参数的量化精度、显示灰度值与颜色偏差三者之间关系。

1 颜色匹配算法及误差分析

1.1 颜色匹配简介

根据色度学基本原理,将非标准系统(1)向标准系统(2)转换。

$$\begin{cases} X = C_r x_r R + C_g x_g G + C_b x_b B \\ Y = C_r y_r R + C_g y_g G + C_b y_b B \\ Z = C_r z_r R + C_g z_g G + C_b z_b B \end{cases} \quad (1)$$

其中, C_r 、 C_g 、 C_b 为未知数,表示了 RGB 三原色的分量系数, x_r 、 y_r 、 z_r 为 R 基色的色度坐标, x_g 、 y_g 、 z_g 为 G 基色的色度坐标, x_b 、 y_b 、 z_b 为 B 基色的色度坐标。

向标准系统

$$\begin{cases} X_{rst} = C_{r-rst} x_{r-rst} R_{rst} + C_{g-rst} x_{g-rst} G_{rst} + C_{b-rst} x_{b-rst} B_{rst} \\ Y_{rst} = C_{r-rst} y_{r-rst} R_{rst} + C_{g-rst} y_{g-rst} G_{rst} + C_{b-rst} y_{b-rst} B_{rst} \\ Z_{rst} = C_{r-rst} z_{r-rst} R_{rst} + C_{g-rst} z_{g-rst} G_{rst} + C_{b-rst} z_{b-rst} B_{rst} \end{cases} \quad (2)$$

其中(2)式中 R_{rst} 、 G_{rst} 、 B_{rst} 为该标准色域空间的三基色, C_{r-rst} 、 C_{g-rst} 、 C_{b-rst} 为标准三基色的系数, x_{r-rst} 、 y_{r-rst} 、 z_{r-rst} 为该标准 R_{rst} 基色的色度坐标, x_{g-rst} 、 y_{g-rst} 、 z_{g-rst} 为该标准 G_{rst} 基色的色度坐标, x_{b-rst} 、 y_{b-rst} 、 z_{b-rst} 为该标准 B_{rst} 基色的色度坐标。

经推导,得出由非标准显示系统向标准显示系统转换的系数 c_{l-rstr} 、 $c_{l-rstrg}$ 、 $c_{l-rstrb}$ 表达式为

$$A_{(L,x,y)} = \begin{pmatrix} c_{l-rst}^{rr} & c_{l-rst}^{gr} & c_{l-rst}^{br} \\ c_{l-rst}^{rg} & c_{l-rst}^{gg} & c_{l-rst}^{bg} \\ c_{l-rst}^{rb} & c_{l-rst}^{gb} & c_{l-rst}^{bb} \end{pmatrix} \quad (3)$$

非标准色域空间转换到标准色域空间的转换方程为

$$\begin{pmatrix} X_l \\ Y_l \\ Z_l \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_r x_r & C_g x_g & C_b x_b \\ C_r y_r & C_g y_g & C_b y_b \\ C_r z_r & C_g z_g & C_b z_b \end{pmatrix} A_{(L,x,y)} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (4)$$

1.2 误差分析

鉴于现在市场上主流的 FPGA 厂商提供的 FPGA 芯片都集成了 LVDS 接口,这样我们在进行扫描电路板设计的时候不用再增加额外的 LVDS 芯片,大大节省了由于网络芯片造成的扫描板制作的成本。在本设计中我们采用 xilinx 公司生产的 spartan3e 系列 250e 作为扫描电路的主控芯片。

1.3 LVDS 原理

应用于数字化设计系统中,需要对 9 个转换参数进行量化,其量化误差的大小以及数字化实现过程中的截断误差,都会影响转换后的显示色域与标准色域的一致性程度。

假设转换参数的量化精度为 Nbits,那么 9 个转换参数经量化后,且应用于逻辑设计中以 RGB 计色制表示的表达式为

$$\begin{cases} R_L = \frac{A_1}{2^N} R + \frac{A_2}{2^N} G + \frac{A_3}{2^N} B \\ G_L = \frac{A_4}{2^N} R + \frac{A_5}{2^N} G + \frac{A_6}{2^N} B \\ B_L = \frac{A_7}{2^N} R + \frac{A_8}{2^N} G + \frac{A_9}{2^N} B \end{cases} \quad (5)$$

其中, R 、 G 、 B 值为原始的图像信息值, R_L 、 G_L 、 B_L 值为进行颜色修正后得到的修正图像信息数据, A_1 、 A_2 、 \dots 、 A_8 、 A_9 为色度修正参数经量化后的量化值,以整数形式存在。

R 、 G 、 B 或 R_L 、 G_L 、 B_L 是激励信号,在实际的系统设计中,只以正整数的形式出现,所以转换方程(4)中 R_L 、 G_L 、 B_L 应为正整数。当量化精度为 N 时,可得到最终实现于设计系统中的转换方程式

$$\begin{cases} R_L = Q \left[\frac{A_1}{2^N} R + \frac{A_2}{2^N} G + \frac{A_3}{2^N} B \right] \\ G_L = Q \left[\frac{A_4}{2^N} R + \frac{A_5}{2^N} G + \frac{A_6}{2^N} B \right] \\ B_L = Q \left[\frac{A_7}{2^N} R + \frac{A_8}{2^N} G + \frac{A_9}{2^N} B \right] \end{cases} \quad (6)$$

由此得到

$$\begin{cases} X_t = C_r x_r (Q[\frac{A_1}{2^N} R + \frac{A_2}{2^N} G + \frac{A_3}{2^N} B]) + C_g x_g (Q[\frac{A_4}{2^N} R + \frac{A_5}{2^N} G + \frac{A_6}{2^N} B]) + C_b x_b (Q[\frac{A_7}{2^N} R + \frac{A_8}{2^N} G + \frac{A_9}{2^N} B]) \\ Y_t = C_r y_r (Q[\frac{A_1}{2^N} R + \frac{A_2}{2^N} G + \frac{A_3}{2^N} B]) + C_g y_g (Q[\frac{A_4}{2^N} R + \frac{A_5}{2^N} G + \frac{A_6}{2^N} B]) + C_b y_b (Q[\frac{A_7}{2^N} R + \frac{A_8}{2^N} G + \frac{A_9}{2^N} B]) \\ Z_t = C_r z_r (Q[\frac{A_1}{2^N} R + \frac{A_2}{2^N} G + \frac{A_3}{2^N} B]) + C_g z_g (Q[\frac{A_4}{2^N} R + \frac{A_5}{2^N} G + \frac{A_6}{2^N} B]) + C_b z_b (Q[\frac{A_7}{2^N} R + \frac{A_8}{2^N} G + \frac{A_9}{2^N} B]) \end{cases} \quad (7)$$

由于量化和取整过程,使得由(7)式计算得到的色坐标以及亮度因数值,与标准系统中色坐标值以及亮度因数值存在着偏差。这种色度偏差可表示为

$$q = \sqrt{(\frac{X}{X+Y+Z} - \frac{X_t}{X_t+Y_t+Z_t})^2 + (\frac{Y}{X+Y+Z} - \frac{Y_t}{X_t+Y_t+Z_t})^2 + (\frac{Z}{X+Y+Z} - \frac{Z_t}{X_t+Y_t+Z_t})^2} \quad (8)$$

色度存在偏差量,可能引起颜色的差异,但也不会引起颜色的差异,这主要取决于人眼对全彩LED显示屏显示颜色差异的辨别能力,下面借助标定色差值来分析颜色偏差与量化精度、显示灰度的关系。

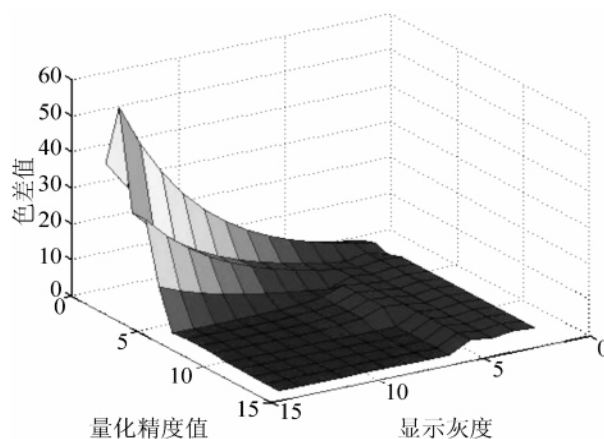


图1 蓝色区域色差分布图

2 量化精度以及显示灰度与颜色偏差的关系

2.1 颜色差异分布

由色度学理论可知,xyY系统为非均匀颜色空间系统,所以在该系统表示的颜色偏差量的大小,与实际上人眼对颜色差异的识别是不完全符合的,为了确切描述实际意义上的颜色偏差的大小,需要将xyY系统中的颜色偏差量转换到均匀颜色空间系统中。 $L^*a^*b^*$ 空间为均匀颜色空间,颜色的差异情况由色差公式表示。并且该系统与决定颜色的三参量x色坐标、y色坐标以及亮度因数有确切的函数关系。通过此函数关系将上述三个色域范围的偏差量转换到 $L^*a^*b^*$ 均匀颜色空间系统中,得到三维曲面图,如图1、2、3所示。

在红色色域范围、绿色色域范围、蓝色色域范围内选取测试点,得到量化精度值以及显示灰度与色差值之间的分布曲面,可清晰地看到显示灰度和量化精度从1bits变化到14bits的整个过程中色差分布大致的变化趋势,红、绿、蓝区域的变化趋势大致相同。

当显示灰度值一定时,分为两种情况(1)随着

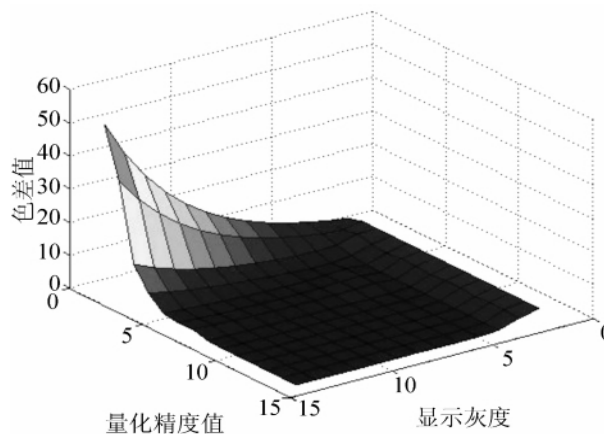


图2 绿色区域色差分布图

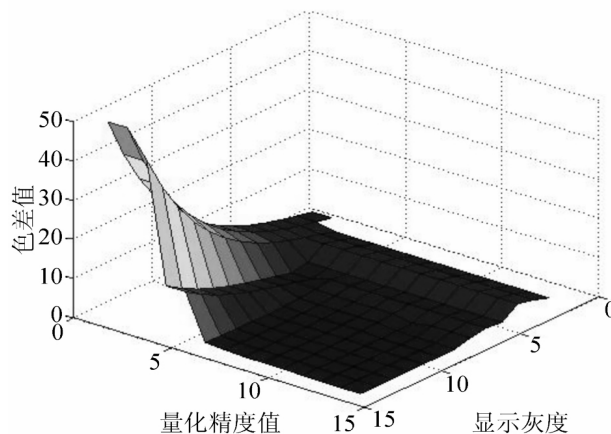


图3 红色区域色差分布图

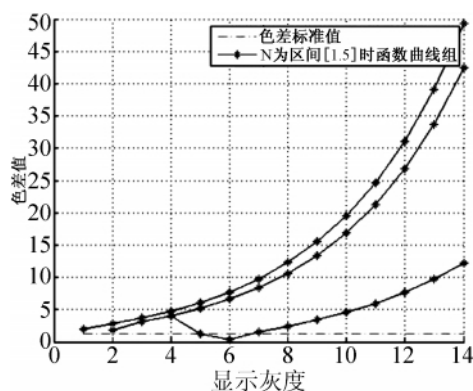
量化精度的提高,色差值会震荡减小。(2)随着量化精度的提高,色差值基本保持不变。

当量化精度一定时,也同样分为两种情况。(1)在量化精度小于某值时,随着显示灰度值的增大,色差值也逐渐增大。(2)当量化精度大于等于某值时,随着显示灰度值的增大,色差值会逐渐减小。

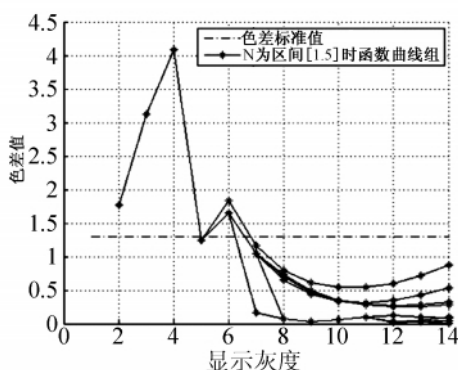
2.2 色域色差分布的曲线分析

对图1、2、3中的色差分布曲面进行分割后得到具有代表性的几组函数曲线,该曲线为以显示灰度值为自变量的色差值分布图,蓝色区域、红色区域、绿色区域的色差曲面经分解得到分布曲线,如图4、5、6所示。

其中, N 代表转换参数的量化精度值。

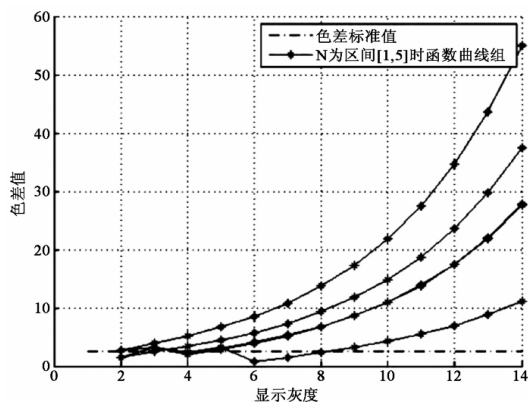


(a) $N=1\sim5$ 时的色差变化曲线组

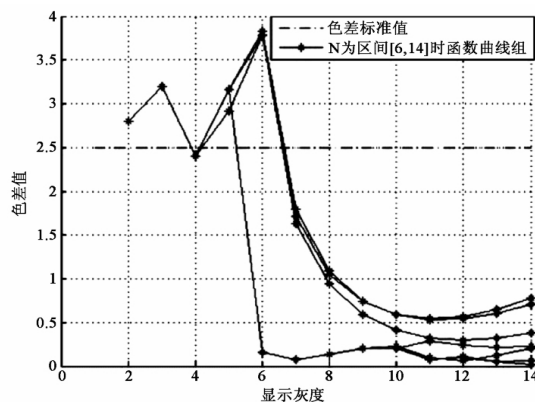


(b) $N=6\sim14$ 时的色差变化曲线组

图4 蓝色色域色差分布的曲线分割图

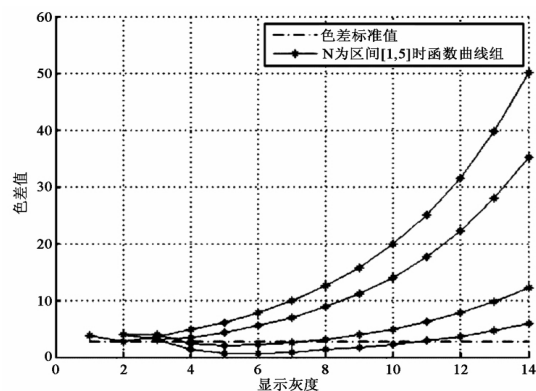


(a) $N=1\sim5$ 时的色差变化曲线组

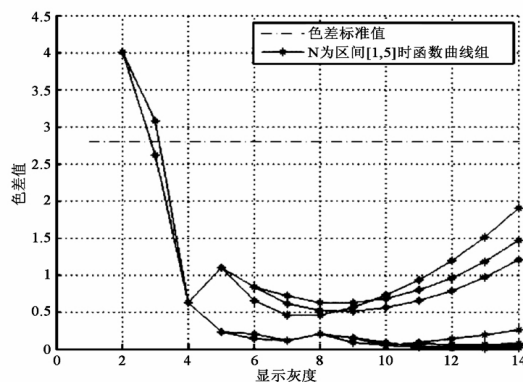


(b) $N=6\sim14$ 时的色差变化曲线组

图5 红色色域色差分布的曲线分割图



(a) $N=1\sim4$ 时的色差变化曲线组



(b) $N=5\sim14$ 时的色差变化曲线组

图6 绿色色域色差分布的曲线分割图

(下转第177页)

快速的色度调整。对于控制系统商来说,系统能否支持现场快速色度调整功能尤为重要,且应该实时监控箱体的点亮时间、箱体的温度等参数,根据每个箱体反馈的参数实时调整色度调整系数,由此实现更高精度的色度调整。

5 结 论

租赁箱体混批使用带来的问题已经日益凸显,而现有的色度调整方案还不能完全解决问题,期望的解决方案主要是在现有方案的基础上改善可操作性,降低成本,提高现场环境的适应性。

参考文献:

- [1] 汪浩. LED 产业的过去、现在和未来[J]. 扬州教育学院学报 (上接第 142 页)

图 4 中为蓝色色域曲面经分割后取不同量化精度值时的曲线变化趋势。当转换参数值 N 小于 6 时,随着显示灰度值有效位数 M 值的增大,色差值也逐渐增大;当转换参数值 N 大于等于 6 时,随着显示灰度值 M 的增大,色差值震荡减小。同样,观察图 5、图 6,得出在红色色域范围内,当转换参数值 N 小于 6 时,随着显示灰度值有效位数 M 值的增大,色差值也逐渐增大;当转换参数值 N 大于等于 6 时,随着显示灰度值 M 的增大,色差值震荡减小。而在绿色色域范围内,当转换参数值 N 小于 5 时,随着显示灰度值有效位数 M 值的增大,色差值也逐渐增大;当转换参数值 N 大于等于 5 时,随着显示灰度值 M 的增大,色差值震荡减小。从图 4、5、6 中还可得出,无论转换参数精度值 N 取区间[1~14]的任何值,显示屏低灰度显示时,都超出标定的色差值。

3 结 论

通过对该颜色匹配算法在应用中的分析,得出显示屏修正后的 7/8 灰度等级的均匀程度可以满足视觉需求,并且低灰度等级的均匀程度也大幅度提高。相较于其它方法,利用该算法实现显示屏一致性校正的方法更具优越性,主要表现为:(1)并未增加硬件的成本;(2)可长期保持显示屏的均匀性,势必提高产品的市场竞争力。

报 2007.9,第 25 卷第 3 期:49-52.

- [2] 方志烈. 发光二极管材料与器件的历史、现状和展望[J]. 物理学和高新技术, 2003, 9:295-301.
[3] 魏智. LED 的技术发展与应用[J]. 国外电子元器件, 2003 (1):73-75.
[4] 毛兴武. LED 的发展与应用[J]. 电子元器件应用, 2005 (10):77-79.
[5] 方佩敏. LED 的发展概况[J]. 今日电子, 2006.8:37-41.
[6] 关积珍. LED 显示屏发展状况及趋势[J]. 世界产品与技术, 2000.2:21-22.

作者简介:邵寅亮(1974-),男,江苏人,清华大学物理系学士,北京中庆微数字设备开发有限公司总工程师,1996 年至今任职于北京中庆微数字设备开发有限公司,一直从事 LED 显示应用相关技术与开发。E-mail:shao@zdec.com。

参考文献

- [1] 李熹霖. 备受关注的 LED 显示新技术[J]. 激光与红外, 36 (12):pp. 1092-1095, 2006.
[2] Multimedia and Equipment Color Measurement and Management Part 2-4 Color Management: Extended Gamut YCC Color Space for Video Application - xvYCC [S]. IEC 619662-4.
[3] T. Carney, C. W. Tyler, A. B. Watson, W. Makous, B. Beutter, C. C. Chen, A. M. Norcia, S. A. Klein. Modelfest: year one results and plans for future years. Human Vision, Visual Processing, Digital Display LX, vol. 3959, pp. 140-151, 2000.
[4] 陈宇,丁铁夫. 显示量化误差对色域转化的影响[J]. 发光学报, 2004, 25(1):98-102.
[5] W DE CORTE, Color solid of CRT phosphors when ambient illumination is present [J]. Display, 8, pp. 114-120, 1987.
[6] Wyszecki, G, Stiles W S. Color Science[M]. Wiley, New York, 1982.
[7] David L Post. Color display gamuts and ambient illumination[J]. Display, 15, pp. 39-44, 1994.

作者简介:郝亚茹(1981-),女,河北省石家庄人,中国科学院长春光机所在读博士,主要从事全彩 LED 显示屏色度校正技术以及硬件控制系统设计的研究。E-mail:yeyunxiaopan@163.com。