

文章编号:1007-2780(2013)01-0092-07

LED 显示屏的色域校正

赵梓权^{1,2}, 王瑞光¹, 郑喜凤^{1*}, 汪 洋¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033, E-mail:zhzq169@yahoo.com.cn;
2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要: LED 发光在亮度和色度上有一定的离散性, 会明显降低 LED 显示屏的图像质量。文章给出了一种色域校正方法, 能在改善 LED 显示屏的亮度、色度均匀性的同时, 确定 LED 显示屏的显示色域。建立了 LED 显示屏显示颜色的线性数学模型, 对 LED 显示屏色域校正的目标色域进行了分析, 给出了将 LED 屏幕所有显示像素的显示色域范围校正到目标色域的方法, 并通过“白平衡”来实现对颜色色坐标的精确控制。实验结果显示, 该方法可以将 LED 显示屏显示色域精确校正到目标色域。

关 键 词: LED 显示屏; 线性; 色域; 白平衡

中图分类号: TN312⁺.8 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3788/YJYXS20132801.0092

Color Gamut Correction of LED Displays

ZHAO Zi-quan^{1,2}, WANG Rui-guang¹, ZHENG Xi-feng^{1*}, Wang Yang¹

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China, E-mail:zhzq169@yahoo.com.cn;
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: LEDs have uniform problems include brightness aspect and color aspect, which would reduce the image quality of LED displays. This paper gives a method to correct the color gamut of LED displays. The method can solve the uniform problems, while correct the color gamut of LED displays accurately. This paper establishes a linear mathematical model of LED displays' colors, analyzing the target color gamut of LED displays. Then, the correction method with the target color gamut as LED displays' color gamut is introduced. Furthermore, white balance in color gamut correction method is introduced to fix the color coordinates of colors accurately. Experimental results showed that this method can correct the color gamut of LED displays into target color gamut accurately.

Key words: LED displays; linear; color gamut; white balance

1 引 言

LED 显示屏由显示像素按阵列排布而成, 具有高亮度、宽色域和高可靠性等优点, 已经广泛应用于图像显示的各个场所。当驱动电流、温度等

变化时, LED 发光的强度和主波长会随之改变, 从而使得色域不稳定。因此, 全彩 LED 显示屏的控制系统大多采用脉宽调制 (PWM) 的方法进行单基色的灰度级控制, 通过控制脉冲宽度来控制 LED 的发光时间, 实现灰度级的显示^[1]。而红

收稿日期: 2012-02-22; 修订日期: 2012-06-06
基金项目: 国家科技支撑支持计划基金项目 (No. 2009BAE73B01)
作者简介: 赵梓权 (1983—), 男, 四川自贡人, 博士研究生, 从事 LED 显示理论的研究。
* 通信联系人, E-mail: xfzheng6598@yahoo.com.cn

色、绿色、蓝色 LED 发光被视为 LED 显示屏的三基色,三基色不同灰度级的组合,组成了 LED 显示屏能够显示的所有颜色,构成了 LED 显示的色域。

LED 的发光特性具有一定的离散性,在现有工艺条件下,即使是同一批次的 LED 芯片产品,其亮度差异可控制在 30% 内,波长差异可控制在 5~10 nm 内。而人眼对于亮度差异值的容忍值为 5%,对主波长分布差异的容忍值为 1~2 nm。因而,LED 屏幕在显示相同的灰度级时,显示像素间的亮度和色度有一定的差异,当差异达到一定的程度时,人眼对于 LED 显示质量的视觉感受就会急剧下降。此外,随着技术水平和市场需求的不断发展,高均匀度、高保真度等一系列有关视觉感受的应用需求对 LED 的显示色彩的能力提出了全新的要求。为了弥补 LED 的离散性缺陷,满足更多的应用要求,亮度和色度校正系统在 LED 屏幕的控制系统中得到了应用。目前,亮度校正技术已经广泛应用于工程生产中,已经可以较好地解决 LED 亮度不均的现象,在舞台背景、商业广告等需要高显示质量的 LED 屏幕中已经得到了广泛应用^[2-6]。而对于 LED 色域的研究,目前多集中在色彩的保真度和色域范围的相关领域^[7-9]。色度校正技术目前只有国内外少数几家公司和研发机构在进行研究,已经取得了一定的成果,在部分显示屏上已经有所运用。现有的色度校正系统,以测量数据为处理对象,大多致力于显示同一基色时,降低显示像素点间的色差,并不要求 LED 显示屏红、绿、蓝三基色的精确色坐标位置。而少数拥有三基色精确色坐标校正能力的校正系统,目前尚无法同时兼顾三基色坐标准确度和“白场”色坐标准确度,因而无法精确确定 LED 显示屏的显示色域。色域校正是在前两者的基础上,同时对 LED 的三基色色坐标和“白场”色坐标进行校正,这也是 LED 显示屏显示效果的标准化和确保色彩保真性的基础。

本文建立了 LED 显示的数学模型,以此数学模型为基础,进一步提出了色域校正方法,它考虑了全灰度级范围内的亮度校正、色度校正以及“白场”对于色域的影响。

2 LED 显示的数学模型

LED 显示屏多采用脉宽调制的驱动方式,灰

度级由不同的脉冲宽度来表示。因此,LED 发光状态总是相同,其灰度级以发光时间长短来表示。式(1)为 LED 的色坐标计算公式, X 、 Y 、 Z 为三刺激值, t 为发光时间,LED 通过脉宽调制产生灰度级时,发光时间 t 决定了灰度级大小,从式(1)可知,无论灰度级如何变化,其色坐标始终不变。

$$\begin{cases} x = \frac{tX}{tX + tY + tZ} = \frac{X}{X + Y + Z} \\ y = \frac{tY}{tX + tY + tZ} = \frac{Y}{X + Y + Z} \end{cases} \quad (1)$$

灰度级和 XYZ 三刺激值之间存在与时间 t 相关的线性关系。当 LED 显示屏总的灰度级级数为 N 时,每一个灰度级步长“1”所对应的 XYZ 三刺激值为:

$$\begin{cases} X' = \frac{X}{N} \\ Y' = \frac{Y}{N} \\ Z' = \frac{Z}{N} \end{cases} \quad (2)$$

显示一个任意的颜色,当红、绿、蓝 LED 发光灰度级分别为 m, n, k 时,其对应的 XYZ 三刺激值为:

$$\begin{cases} X = m \frac{X_R}{N} + n \frac{X_G}{N} + k \frac{X_B}{N} \\ Y = m \frac{Y_R}{N} + n \frac{Y_G}{N} + k \frac{Y_B}{N} \\ Z = m \frac{Z_R}{N} + n \frac{Z_G}{N} + k \frac{Z_B}{N} \end{cases} \quad (3)$$

3 LED 显示屏的色域校正

目前,LED 显示屏的亮度校正和色度校正技术已经能较好地解决 LED 屏幕的均匀性问题,而色域校正不但要求 LED 屏幕显示图像时的色彩均匀性,更要求每个颜色的色坐标都能精确固定在对应的目标色坐标位置,能够以准确、逼真的色彩来进行图像显示。本文中的 XYZ 三刺激值均由使用 CIE1931XYZ 颜色系统的测量设备提供,测量精度为亮度:±2%,CIE1931XYZ:±0.001 5。

3.1 LED 显示屏的目标色域

LED 显示像素的色域,可视为由红、绿、蓝 LED 的色坐标围成的三角形。由于各基色 LED 色坐标的离散性,每个显示像素的色域范围也有所不同。要确定 LED 显示像素的色域,只需要连接 LED 显示像素显示颜色时的 3 个基色的色坐

标。而整个 LED 显示屏目标色域的 3 个基色色坐标的位置,必须在 LED 屏幕上每个显示像素的公共色域范围内。

如图 1 所示,两个 LED 显示像素 P1 和 P2 (此处的色坐标并非真实色坐标,仅作说明),由于基色 LED 的色坐标不同,这两个显示像素的色域范围也不同,3 个基色色坐标连接起来围成的色域为 P1 和 P2 分别能够显示的最大色域范围。整个 LED 屏幕进行图像显示时,P1 和 P2 的色域一致显然能够拥有更好的显示效果。在图 1 中,两个色域三角形的交叉部分为其公共色域范围,这个色域范围很可能是一个多边形形状。而 LED 在经过色域校正后显示颜色时,其目标色域必然应为一个三角形色域,这是由显示器件所使用的三原色混色理论决定的。这个目标色域的 3 个顶点的选择将直接决定显示屏的显示色域。目标色域 3 个顶点的选择通常有两种策略:(1)色域最大化原则,即使得目标色域三角形的面积最大;

(2)标准化原则,即使得显示屏的色域靠近某一种标准色域,比如 xvYCC 色域等。第一种策略尽可能的保证 LED 显示屏的色域范围更广,而第二种策略更侧重于颜色的保真性和产品质量的标准化。在本文中,使用策略一进行说明,即色域顶点的选择使得目标色域面积最大。图 1 中公共色域范围内的三角形即为应用策略 1 时 P1 和 P2 的目标色域。以表 1 所示的数据来进行目标色域的

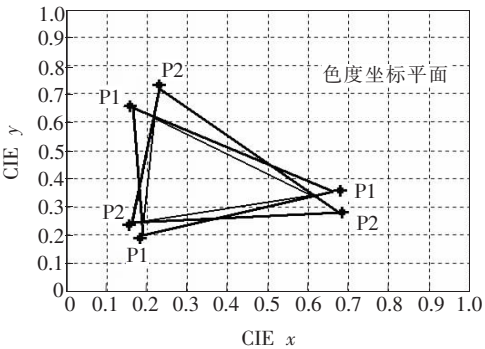


图 1 LED 显示像素 P1 和 P2 的目标色域
Fig. 1 Target color gamut of LED pixel P1 and P2

表 1 LED 显示像素的色域校正前后的三刺激值对比

Table 1 Tristimulus values of LED pixels before and after the color gamut correction									
	X_R	Y_R	Z_R	X_G	Y_G	Z_G	X_B	Y_B	Z_B
校正目标	68.567	31	0.239 5	18.133 3	78.2	17	21.631 5	12.54	122.578 5
校正前测量的三刺激值				校正系数			校正后的测量的三刺激值		
LED	X	Y	Z	K_1	K_2	K_3	X	Y	Z
Red 1th	92.24	41.31	0.019 00	0.742 334 949	0.003 816 6	0.000 913 5	68.53	30.99	0.074
Red 2th	70.44	31.25	0.014 13	0.971 238 226	0.008 140 9	0.000 536 7	68.63	31.01	0.139
Red 3th	70.57	31.00	0.012 65	0.968 484 099	0.012 286 1	0.000 215 8	68.29	30.76	0.195
Red 4th	79.05	35.28	0.015 88	0.865 996 134	0.005 424 9	0.000 791 1	68.61	30.91	0.075
Red 5th	86.79	38.77	0.0175 7	0.788 789 896	0.004 813 3	0.000 832 6	68.94	31.22	0.074
Red 6th	81.06	36.60	0.017 73	0.845 314 693	0.000 484 5	0.001 086 1	68.09	30.68	0.015
Red 7th	92.72	41.49	0.019 07	0.738 433 391	0.003 937 9	0.000 984 8	68.53	30.98	0.083
Red 8th	73.44	32.47	0.013 78	0.931 358 555	0.009 498 7	0.000 490 9	68.41	30.81	0.141
Red 9th	73.84	33.26	0.015 89	0.927 782 22	0.001 587 2	0.001 240 8	69.05	31.32	0.015
Green 1th	17.50	84.13	15.410 00	0.017 250 034	0.918 392 2	0.015 609 9	17.98	78.80	17.00
Green 2th	16.89	78.81	15.990 00	0.018 591 861	0.98 367 07	0.007 131 6	18.23	78.30	17.13
Green 3th	17.53	79.30	15.550 00	0.009 204 441	0.980 884 9	0.010 405 7	18.26	79.14	17.41
Green 4th	16.00	80.55	15.560 00	0.031 600 401	0.954 977 9	0.011 975 6	18.07	78.03	16.93
Green 5th	17.22	84.68	15.420 00	0.022 560 484	0.910 604 9	0.016 262 1	18.18	78.19	16.88
Green 6th	20.10	97.40	17.580 00	0.020 716 374	0.793 012 5	0.015 376 9	18.04	78.16	17.05
Green 7th	18.81	88.64	17.590 00	0.015 484 754	0.873 394 7	0.010 319 6	18.21	78.37	17.25

(续表)

	X_R	Y_R	Z_R	X_G	Y_G	Z_G	X_B	Y_B	Z_B
Green 8th	16.52	79.18	16.43	0.025 224 079	0.976 130 400	0.006 684 000	18.04	78.19	17.17
Green 9th	17.28	78.2	15.92	0.010 319 993	0.994 271 500	0.007 282 500	18.42	79.4	17.31
Blue 1th	30.13	14.29	182.4	0.010 067 463	0.030 399 400	0.669 461 900	21.75	12.66	124.32
Blue 2th	29.38	13.45	178.2	0.012 642 121	0.037 280 600	0.684 524 200	21.57	12.64	122.94
Blue 3th	27.76	12.54	167.9	0.011 089 911	0.038 920 100	0.726 463 100	21.68	12.57	123.60
Blue 4th	29.70	13.50	178.7	0.009 641 495	0.037 034 500	0.682 720 100	21.48	12.34	121.70
Blue 5th	30.42	13.24	181.9	0.006 227 784	0.040 408 100	0.670 452 400	21.79	12.51	123.22
Blue 6th	33.46	13.16	198.9	0.002 973 505	0.044 898 600	0.612 313 400	21.70	12.4	122.74
Blue 7th	26.07	13.55	158.6	0.012 977 373	0.017 548 100	0.770 930 500	21.44	12.3	121.32
Blue 8th	23.22	13.61	143.9	0.024 880 866	0.001 787 100	0.851 624 700	21.49	12.35	122.54
Blue 9th	26.13	14.38	160.8	0.020 904 676	0.011 498 400	0.761 163 600	21.45	12.52	123.17

分析,表 1 中的 9 个 LED 显示像素的色坐标和色域如图 2 所示。这些显示像素的公共色域的计算如式(4):

$$A = \bigcap_{i=1}^9 P_i \tag{4}$$

在图 2 中所示的公共色域中,在使得目标色域尽可能大的前提下,选取红、绿、蓝的目标色坐标为:(0.687,0.3105),(0.16,0.69),(0.138,0.08)。这 3 个坐标连接起来围成的三角形区域构成了校正的目标色域。

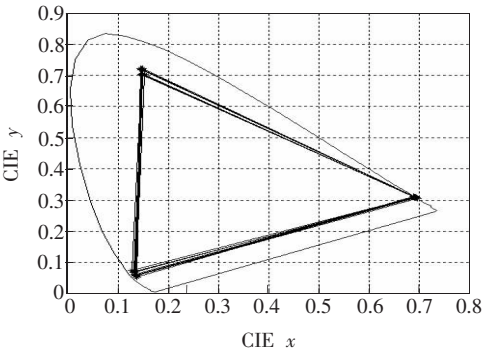


图 2 表 1 中 LED 显示像素的色域
Fig.2 Color gamut of LED pixels mentioned in Table 1

3.2 色域校正

LED 进行色域校正时,除了需要选择目标色域范围外,还需要确定每个 LED 的目标亮度。LED 的亮度可以直接用三刺激值中的 Y 值进行表示,而色度在 CIE1931XYZ 颜色空间中可以用色坐标公式(1)进行表示。在色域校正后,所有的 LED 亮度应该一致,因此其目标值可以选用所有 LED 亮度中的最小值,以表 1 中的红色 LED 为例,其最小 Y 值为 31,目标色坐标为(0.687,

0.310 5),通过色坐标式(1)进行计算,可以得到此时红色基色的目标三刺激值为:

$$\begin{cases} Y = 31 \\ x = \frac{X}{X+Y+Z} = 0.687 \\ y = \frac{Y}{X+Y+Z} = 0.3105 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} X_R = 68.5673 \\ Y_R = 31 \\ Z_R = 0.2395 \end{cases} \tag{5}$$

本文用 X_R 、 Y_R 、 Z_R 表示红色 LED 的目标三刺激值, X_r 、 Y_r 、 Z_r 表示红色 LED 的当前三刺激值,其余颜色的 LED 做类似定义。从式(2)、式(3)的线性数学模型可以知道,当 LED 的发光强度改变时,它的三刺激值也随之线性变化。在校正之前,红色 LED 单独发光可以表示为:

$$1 \times \begin{bmatrix} X_r \\ Y_r \\ Z_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_R \\ Y_R \\ Z_R \end{bmatrix} \tag{6}$$

色域校正中新的红色基色,是通过对一个显示像素中的三个基色 LED 乘以不同的系数来表示,即用三个基色 LED 的发光组合来代替原来的红色 LED 单独发光作为红色基色,这三个基色 LED 的发光三刺激值应为红色基色的目标三刺激值,它可以描述为:

$$k_{r1} \times \begin{bmatrix} X_r \\ Y_r \\ Z_r \end{bmatrix} + k_{r2} \times \begin{bmatrix} X_g \\ Y_g \\ Z_g \end{bmatrix} + k_{r3} \times \begin{bmatrix} X_b \\ Y_b \\ Z_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_R \\ Y_R \\ Z_R \end{bmatrix} \tag{7}$$

在式(7)中,当 $k_{r1} = 1, k_{r2} = 0, k_{r3} = 0$ 时,即为式(6)所表示红色 LED 在校正前单独发光的情况,求解式(7)可得:

$$\begin{bmatrix} k_{r1} \\ k_{r2} \\ k_{r3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_r & X_g & X_b \\ Y_r & Y_g & Y_b \\ Z_r & Z_g & Z_b \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} X_R \\ Y_R \\ Z_R \end{bmatrix} \quad (8)$$

通过式(8)可求得此红色 LED 的校正系数,对新的红基色,灰度级为 p 时的理论三刺激值应为:

$$\begin{bmatrix} X_p \\ Y_p \\ Z_p \end{bmatrix} = \frac{p}{N} \times \begin{bmatrix} X_r & X_g & X_b \\ Y_r & Y_g & Y_b \\ Z_r & Z_g & Z_b \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} k_{r1} \\ k_{r2} \\ k_{r3} \end{bmatrix} \quad (9)$$

对表 1 中的红、绿、蓝 LED 都进行类似的校正,可以得到绿色 LED 的校正系数 k_{g1}, k_{g2}, k_{g3} 和蓝色 LED 的校正系数 k_{b1}, k_{b2}, k_{b3} 。需要注意的是,在显示像素需要显示最高灰度级的“白场”时,“白场”中的红色 LED 亮度分别来自于红色基色、绿色基色和蓝色基色,可表示为

$$X = X_r \times k_{r1} + X_r \times k_{g1} + X_r \times k_{b1} = X_r \times (k_{r1} + k_{g1} + k_{b1}) \quad (10)$$

在式(5)中,很有可能因对单个基色进行校正时的 Y''_R 值设置过大而导致 $k_{r1} + k_{g1} + k_{b1} \geq 1$,此时式(10)中所需的 X 值已经大于红色 LED 的最大发光亮度,显然,这是必须避免出现的情况,这一情况将在之后的白平衡处理中进行讨论。色域校正的结果如图 3 和表 1 所示,实际测量三刺激值与目标三刺激值之间亮度差异小于 3%,接近于测量设备的精度,各基色色坐标聚集程度相对校正前有了明显提高,实际色坐标与目标色坐标之间差异接近于 0.005^[3]。需要进行说明的是,最终的校正效果与校正系统精度密切相关,本文中使用的校正系统精度为 10 bit,当校正系统精度足够小时,校正后的 LED 色坐标理论上将聚集为一个“点”,校正精度还将进一步提高。

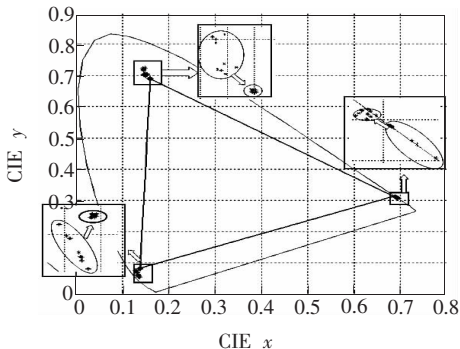


图 3 LED 显示像素色域校正前三基色的色坐标分布
Fig. 3 Three primary colors' color coordinates of LED pixels which are mentioned in Table 1 before and after the color gamut correction

3.3 色域校正中的白平衡

“白场”的色坐标和均匀度是 LED 显示屏的重要质量指标,也是衡量颜色保真性的重要标准。因而对 LED 显示屏的红、绿、蓝基色必须进行白平衡处理,它要求 3 种基色在相同的灰度级时合成的仍旧为纯正的白色^[10]。不使用色域校正系统的 LED 显示屏,只需要将红、绿、蓝三基色 LED 进行白平衡处理即可^[11-12]。而色域校正过程中的白平衡,除白场色坐标的精确度外,还必须考虑 LED 发光强度是否能够满足色域校正也就是式(10)的要求,避免因显示能力不足而出现新的显示缺陷。本文以 D65 标准光源的色坐标 (0.313, 0.329) 作为“白场”色坐标的目标。因此只需给出白平衡后的目标亮度值 Y_{aim} , 就能得到此时的目标三刺激值 X_{aim} 和 Z_{aim} 。式(11)描述了白平衡的过程,色域校正后得到的新的红色、绿色和蓝色基色别乘以 m, n, l , 之后得到的三刺激值为目标“白场”三刺激值, m, n, l 为 3 个基色的白平衡系数,用来调节每个基色的强度,使得最终相同基色的 LED 的相同灰度级合成的光为纯正的白光,色坐标为 (0.313, 0.329)。

$$\begin{bmatrix} X_{aim} \\ Y_{aim} \\ Z_{aim} \end{bmatrix} = m \times \begin{bmatrix} X_R \\ Y_R \\ Z_R \end{bmatrix} + n \times \begin{bmatrix} X_G \\ Y_G \\ Z_G \end{bmatrix} + l \times \begin{bmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{bmatrix} \quad (11)$$

求解式(11)如式(12)所示:

$$\begin{bmatrix} m \\ n \\ l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_R & X_G & X_B \\ Y_R & Y_G & Y_B \\ Z_R & Z_G & Z_B \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} X_{aim} \\ Y_{aim} \\ Z_{aim} \end{bmatrix} \quad (12)$$

在式(12)中,未知量为 Y_{aim}, X_{aim} 和 Z_{aim} , 可以通过色坐标公式求得。显然,不同的 Y_{aim} 值会计算出不同的 m, n, l 。为了保证 LED 显示屏的高亮度, Y_{aim} 的取值越大越好,当 LED 显示“白场”的最高亮度时,其中的红色 LED 的亮度用式(10)进一步表述为:

$$X = X_r \times (mk_{r1} + nk_{g1} + lk_{b1}) \quad (13)$$

在式(13)中,当 $mk_{r1} + nk_{g1} + lk_{b1} > 1$ 时,红色 LED 的发光亮度不能满足最高亮度的“白场”,LED 显示在最高亮度的“白场”将出现红色分量不足的缺陷,对应的 LED 显示像素的亮度和颜色都将与正常 LED 显示像素不同,会极大的影响显示质量。因此,对于 LED 显示屏中的每个显示像素中的红色、绿色、蓝色 LED 来说,都将有限制条件式(14)。当式(14)满足时,色域校正和白

平衡可以同时实现。

$$\begin{cases} m \times k_{r1} + n \times k_{g1} + l \times k_{b1} \leq 1 \\ m \times k_{r2} + n \times k_{g2} + l \times k_{b2} \leq 1 \\ m \times k_{r3} + n \times k_{g3} + l \times k_{b3} \leq 1 \end{cases} \quad (14)$$

为了满足式(14),必须选择合适的 Y_{aim} 值,直接计算较为困难,最合理的算法是通过半查找算法,使 $Y=Y_R+Y_G+Y_B$,对 Y_{aim} 取值在 $0 \sim Y$ 之间进行对半查找,不断将 Y_{aim} 代入式(12)中进行计算,并通过式(14)对所有的显示像素进行判断,能够满足式(14)的最大 Y_{aim} 值即为白平衡时的目标亮度值。

对表 1 中的 LED,当 $Y_{aim} = 0.875 \times (Y_R + Y_G + Y_B)$ 时,色域校正之后,白平衡之前的白场色坐标如图 4 中的 W_1 点,白平衡之后,白场色坐标变为了 W_2 ,而白平衡的目标色坐标为 $(0.313, 0.329)$,从图中可知,此时任意一个显示像素的色坐标与目标色坐标之间的差异均小于 $0.003^{[3]}$,

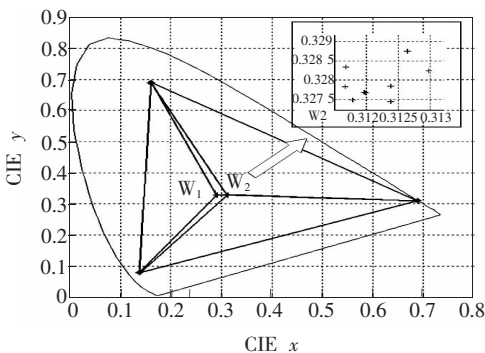


图 4 “白场”色坐标白平衡前后对比图
Fig. 4 Color coordinates of the white-point before and after the white balance

此算法能够很好地完成白平衡。如图 4 所示,“白场”坐标确定后,之前校正后的三基色坐标配合,所有的 LED 像素点的色域会趋于一致,每个 LED 像素点能显示的所有颜色的色坐标都将确定,从而实现了 LED 显示屏显示颜色的精确控制。

当白平衡目标值为 Y_{aim} 时,当前显示像素所对应的校正系数可以整理为式(15):

$$\begin{matrix} mk_{r1} & nk_{g1} & lk_{b1} \\ mk_{r2} & nk_{g2} & lk_{b2} \\ mk_{r3} & nk_{g3} & lk_{b3} \end{matrix} \quad (15)$$

此时,一个 LED 显示像素的红、绿、蓝 LED 灰度级为 i_1, i_2, i_3 时,经过色域校正后输出的真实灰度级为:

$$\begin{bmatrix} i_1' \\ i_2' \\ i_3' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} mk_{r1} & nk_{g1} & lk_{b1} \\ mk_{r2} & nk_{g2} & lk_{b2} \\ mk_{r3} & nk_{g3} & lk_{b3} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix} \quad (16)$$

4 结 论

建立了 LED 显示颜色的数学模型,通过色域校正算法来改善 LED 显示色域的不一致性,并进一步讨论了白平衡中可能出现的由校正引入的缺陷的处理方法。实验结果显示,经过色域校正后,LED 显示像素的亮度和色度一致性显著提高,每个显示像素的基色色坐标和“白场”色坐标都高度接近校正目标,可实现基色色坐标精度误差 0.005 ,“白场”色坐标精度误差 0.003 ,亮度差异小于 3% ,可以大幅改善 LED 显示屏幕的显示效果。

参 考 文 献:

[1] Svilainis L. LED brightness control for video display application [J]. *Displays*, 2008, 29(5):506-511.
[2] Harris S. Color and luminance uniformity correction for LED video screens [EB/OL]. [2011-11-29]. <http://www.signindustry.com/led/articles/2007-10-15-SH-Pulse Width Modulation PWM Correction of LEE Displays.php3>.
[3] 李熹霖. LED 显示屏逐点色度亮度校正技术讲座 [J]. *现代显示*, 2011, 124:5-8.
[4] Li X L. A lecture on the technology of color and brightness correction of pixel of LED display screen [J]. *Advanced Display*, 2011, 124:5-8.
[5] Schanda J. CIE colorimetry and colour displays[C]//*Proceedings of the Color Imaging Conference: Color Science, Systems, and Applications*, Scottsdale, Arizona: Society for Imaging Science and Technology, 1997:230-233.
[6] 许宝升. 伽玛值、白场色温及亮度对显示效果的影响[J]. *液晶与显示*, 2012, 27(1):51-55.
[7] 阮海蓉, 夏贵勇. 基于照相的 LED 显示屏亮度校正方法[J]. *液晶与显示*, 2012, 27(2):193-197.
[8] Wen S F. Display gamut comparison with number of discernible colors [J]. *J. Electronic Imaging*, 2006, 15(4):043001.

