

利用四原色降低显示器功耗方法的研究

高寒, 雷志春, 林长海

引用本文:

高寒, 雷志春, 林长海. 利用四原色降低显示器功耗方法的研究[J]. 液晶与显示, 2020, 35(12): 1248–1257.

GAO Han, LEI Zhi-chun, LIN Chang-hai. Energy-saving method for displays based on four primary colors[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2020, 35(12): 1248–1257.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.37188/YJYXS20203512.1248>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

一种低光照度下的彩色数码设备色彩还原能力评价方法

Evaluation method of color restoration ability of color digital equipment under low illumination

液晶与显示. 2020, 35(5): 477–485 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20203505.0477>

基于通用三原色信道的四原色图像颜色表示方法

Representing four-primary-color image based on three-primary-color channels

液晶与显示. 2019, 34(11): 1079–1090 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20193411.1079>

宽色域视频图像技术研究与发展

Overview on research and development of wide color gamut video image technology

液晶与显示. 2020, 35(3): 262–271 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20203503.0262>

基于邻域优先搜索的快速图像色彩转移算法

Fast color transfer algorithm based on neighborhood-first searching

液晶与显示. 2020, 35(8): 877–884 <https://doi.org/10.37188/YJYXS20203508.0877>

基于金属-电介质-金属结构的滤波器提升LCD色域的研究

Improving the color gamut of LCD by a filter based on metal-dielectric-metal structure

液晶与显示. 2020, 35(1): 19–25 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20203501.0019>

文章编号:1007-2780(2020)12-1248-10

利用四原色降低显示器功耗方法的研究

高 寒¹, 雷志春^{1*}, 林长海²

(1. 天津大学 微电子学院, 天津 300072; 2. 四川苏格通讯技术有限公司, 四川 宜宾, 644000)

摘要: 为了降低 LED 背光液晶显示器的能耗, 提出了四原色 LED 背光方案, 并对该四原色 LED 重新表达颜色的节能性以及色差进行研究。首先, 由于人眼对于红色光不敏感, 文中提出了一种使用第四原色替代红色来重新表示复合颜色的方法。为了达到最佳的节能效果, 引入了发光效率来确定第四种原色。之后通过色域分区的方式, 说明了三原色到四原色的转换方法。最后, 介绍了如何评估颜色重新表达后的色差。结果表明, 通过 OGB 颜色而不是流行的 RGB 颜色重现复合颜色, 功耗平均降低了 20% 以上, 使用 OGB 表达颜色与 RGB 表达颜色的平均色差 ΔE 小于 1.9。文中提出四原色 LED 背光方案, 对于目前的液晶显示器有良好的节能效果, 不会使图像的显示产生明显的色差, 符合当前显示器的显示准确和节能的要求。

关键词: 四原色; 节能; 颜色重现; 色差

中图分类号: TP394.1; TN27 **文献标识码:** A **doi:** 10.37188/YJYXS20203512.1248

Energy-saving method for displays based on four primary colors

GAO Han¹, LEI Zhi-chun^{1*}, LIN Chang-hai²

(1. School of Microelectronics, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. Sichuan Suge Communication Technology Co., Ltd., Yibin 644000, China)

Abstract: To reduce the energy consumption of LED backlight LCD, the four-primary-color backlight schemes are proposed. The energy-saving performance and chromatic aberration of the four-primary-color LED reproducing colors are studied. Firstly, since the human eye is not sensitive to red light, a method to use the fourth primary color instead of red is proposed to represent the color. To achieve the best energy-saving effect, the radiate luminous efficiency is introduced to determine the fourth primary color. Next, the method of converting the three primary colors to the four primary colors is explained by means of color gamut partitioning. Finally, how to evaluate the chromatic aberration of the reproduced colors is introduced. The results show that by using OGB colors instead of the popular RGB colors to reproduce composite colors, the average power consumption is reduced by more than 20%, and the average chromatic aberration of the reproduced colors of OGB and RGB is less than 1.5. This paper proposes a four-primary color LED backlight scheme, which has a good energy-saving effect for LCD and meets the requirements of current display accuracy and energy saving.

Key words: four primary colors; energy saving; color reproduction; chromatic aberration

收稿日期: 2020-06-15; 修订日期: 2020-08-18.

基金项目: 天津市科技支撑项目 (No.16YFZCGX00760)

Supported by Science and Technology Support Program of Tianjin (No.16YFZCGX00760)

* 通信联系人, E-mail: zclei@tju.edu.cn

1 引言

在信息社会中,显示器是传达信息的重要手段。LCD 显示器、OLED 显示器在生活中随处可见。在上述设备中,显示面板消耗了大部分功耗^[1],因此降低显示器的功耗尤为迫切。

红色(R)、绿色(G)和蓝色(B)3 种原色是显示技术中主流的三原色,但是 RGB 三原色理论无法解释色盲现象。而颜色对立学说^[2](Opponent-process theory)比三原色理论更符合人眼的视觉系统。根据颜色对立学说,绿色和红色混色形成白色(W)而不是黄色(Y)。现在的 RGB 系统中,为了兼顾黄色光的重现,对绿原色和红原色主波长的选取进行折中^[3],而导致三原色可覆盖的色域范围缩小。并且黄色是人眼非常敏感的颜色,这意味着相比于红色或蓝色光,黄色光在较低的功耗下可以达到相同的亮度。所以为了达到高亮度或者低功耗的目的,研究者们大多使用 RGBY 多原色的 LCD 或者 OLED 系统。与流行的 RGB 三原色显示器相比,使用多原色技术可以显著降低显示器的功耗^[4-9]。

为了提高 LCD 显示器中光线的利用率,大部分研究集中于多原色液晶结构,而不同的研究采用不同的多原色液晶方案^[4-7]。例如,RGBY 四原色^[4]、RGBW 四原色^[5]、RGBY 和青色(C)组成的 RGBCY 五原色^[6]。现在常见的商业化四原色液晶显示器产品为使用了 Quattron 技术的夏普 LCD-80XU 35A 液晶显示器,其为 RGB+Y 的四原色液晶显示方案^[7]。但是根据报道可以得知,其功耗达到了 470 W,节能效果较差。

对于 OLED 显示器,目前也有 RGBY 四原色像素结构。台湾友达光电公司已展示带有黄色子像素的 RGBY 高清 OLED 面板^[8]。Xiong 等人^[9]研究了多原色像素结构 OLED 面板,在扩大色域的同时,可以显著降低功耗。但是根据混色定理可以得知,特定复合色可以由三原色唯一表达。而在原色增加时,表达特定复合色存在多种可能,系统的复杂程度将急剧提高。

大多数多原色显示技术的研究侧重于扩展色域或降低功耗,对于多原色重新混合所引起的颜色感知问题研究较少,尤其是在色域三角形边界上的饱和颜色。针对此问题,本文通过人眼光谱光视效

率来引入人眼敏感的原色橙色(O)并降低人眼不敏感原色的使用,实验结果表明,本方法可以显著降低功耗。在表达颜色之前,通过判断颜色在色度图中所属的位置,进而决定颜色的表达方式。如果目标的颜色处于 OGB 区域,使用 OGB 三原色表达,而不使用 RGB 表达;在表达 ROB 区域的颜色时,依然使用 RGB 表达。实验证明,该方案可以有效降低功耗并且具有极小色差。

2 颜色重新表达原理

2.1 选择第 4 种原色

人眼对不同波长的光有不同的敏感度,这可以通过如图 1 所示的明视觉人眼光谱光视效率归一化函数来描述^[10]。光谱光视效率函数是在不同颜色产生相同亮度感知的条件下测量的。这意味着在相同亮度的前提下,人眼对该颜色越敏感,产生特定波长光的功率越低,节能效果就越明显。从图 1 可以看出,人类视觉系统对波长为 555 nm 的黄绿色光线最敏感,对红色和蓝色最不敏感。这意味着,要达到同样的亮度感知,红光的辐射通量必须远大于黄绿色光的辐射通量。因此,用具有较高的明视觉光谱光视效率的颜色代替红色或蓝色可以减少能耗。

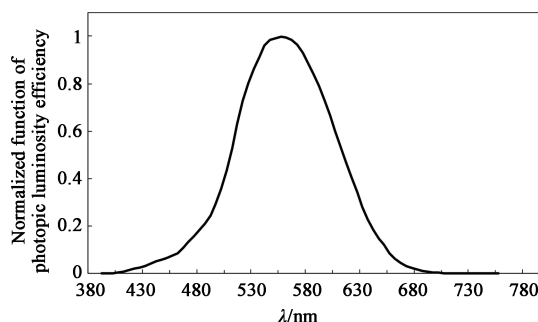
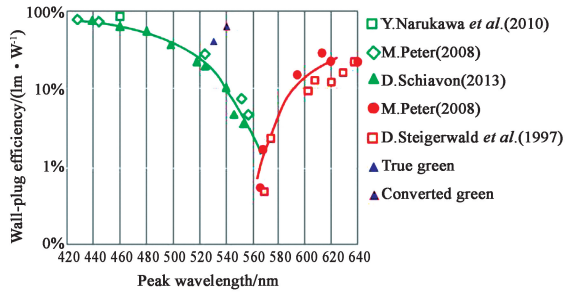


图 1 CIE 明视觉人眼光谱光视效率函数^[10]

Fig.1 CIE photopic luminosity efficiency function^[10]

根据上述原则,有两种节能方案可以选择:一是添加新的原色取代红色;二是使用新的原色取代蓝色。虽然蓝色的光谱光视效率比红色低,但是蓝色 LED 的电光转换效率(Wall-plug efficiency, WPE)要远远高于红色 LED,如图 2 所示^[11]。本文引入国际电工委员会(International Electrotechnical Commission, IEC)指定的辐射发光效率^[12],来综合考量红色或蓝色哪种颜色应该被

图 2 LED 电光转换效率^[11]Fig.2 LED wall-plug efficiency^[11]

替代。

定义辐射发光效率的公式为^[12]：

$$\eta_e = \frac{\Phi_V(\lambda)}{P} = K_m \times \eta_{WPE}(\lambda) \times V(\lambda), \quad (1)$$

其中： K_m 为最大光谱光视效能常数， $K_m = 683 \text{ lm/W}$ ， $V(\lambda)$ 代表人眼明视觉光谱光视效率函数， $\eta_{WPE}(\lambda)$ 是对应波长 LED 的电光转换效率。辐射发光效率越高，说明在使用该种颜色表达相同亮度时，所需要的能耗越小。

通过计算可知 465 nm 蓝色 LED 的辐射发光效率为 55 lm/W；630 nm 红色 LED 的辐射发光效率为 39 lm/W；530 nm 绿色 LED 的辐射发光效率为 106 lm/W。根据如上数据，可以看出如果使用某种辐射发光效率更高的颜色来代替辐射发光效率最低的红色，可以有效降低能耗。如果试图在 RGB 三原色中减少蓝色原色的使用，那么不能像红色原色那样节省能源，如图 2 所示，蓝色 LED 的 WPE 值约为 70%，比红色 LED 的 WPE(只有 25%)大得多。

所以本文选择一个辐射发光效率更高的原色来代替红色。由图 3 可以看出，当第四种原色位于绿色和红色色度坐标之间时，在表达颜色时才可以代替红色。例如图 3 中添加的原色为 Y，在表达 YGB 三角型的原色可以使用 Y 代替红色，从而降低红色的使用。而在 RYB 区域中，依然使用 RGB 表达颜色，因为原色 Y 的光谱光视效率低于绿色(G)的光谱光视效率。

首先确定了原色 Y 位于 RG 原色之间。接下来，定义函数 K 来确定原色 Y 的具体波长。

$$K = M \times \eta_e(\lambda) + N \times \eta_e(\lambda_R), \quad (2)$$

其中： M 为三角形 YGB 的面积占 RGB 区域的比例， N 为 RYB 三角形面积占 RGB 面积的比例，

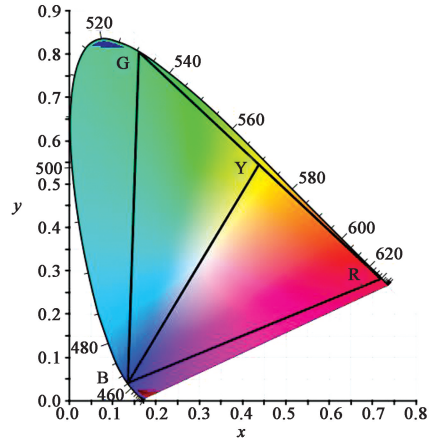


图 3 CIE 1931 色度图

Fig.3 CIE 1931 chromaticity diagram

$\eta_e(\lambda)$ 是原色 Y 的辐射发光效率，其随波长的改变而变化。 $\eta_e(\lambda_R)$ 是 630 nm 波长红光的辐射发光效率。由该公式(2)可知， M 值越大，在 OGB 三角形范围覆盖就越大，可使用第四种原色表达的颜色就越多，产生的节能效果就越好。

M 和 N 由上述定义表达为：

$$M = S_{YGB} / S_{RGB}, \quad (3)$$

$$N = S_{RYB} / S_{RGB}, \quad (4)$$

根据公式(3)和(4)可知： M 和 N 的值与 YGB 和 RYB 的面积有关。如图 4 所示，原色 Y 的色度坐标在 RG 直线上移动时，不影响三角形的高度 h ，所以 $M = L_{YG} / L_{RG}$ ， $N = L_{RY} / L_{RG}$ ， L_{RG} 、 L_{RY} 、 L_{YG} 分别是 RG、RY、YG 的长度。

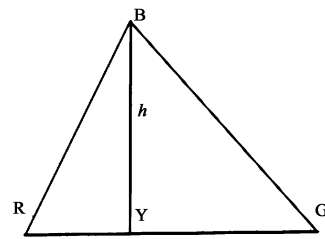


图 4 RY 和 GY 线的关系

Fig.4 Relationship between RY and GY line

系数 K 与波长的关系如图 5 所示，由该图可知当第四原色的波长选择为 590 nm 时， K 值最大。因此，第四种原色 Y 应选择波长 $\lambda = 590 \text{ nm}$ 的橙黄色。综上所述，本文选择使用较为常见的 590 nm 波长的橙色 LED，即为橙色(O)，其在色度图中的位置如图 6 所示。在下文中第四种原色均使用橙色(O)表示。

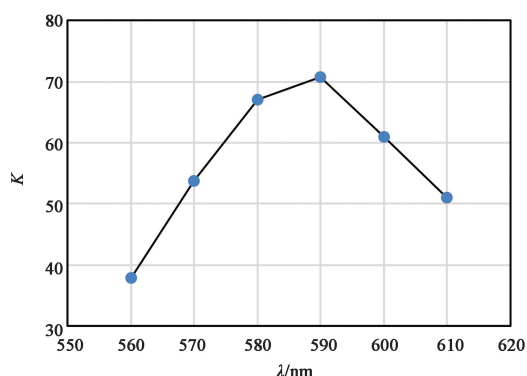


图 5 K 值和波长的关系

Fig.5 K value as function of λ

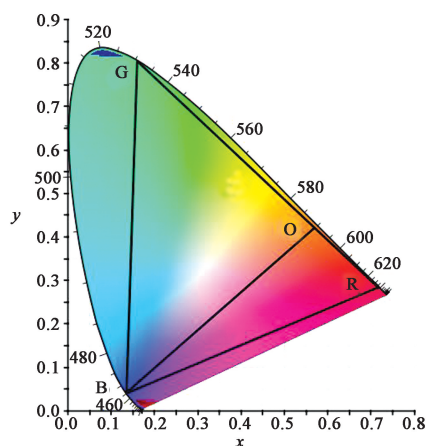


图 6 颜色 O 在 CIE 1931 xy 色度图中的位置

Fig.6 Position of color O on CIE 1931 xy chromaticity diagram

2.2 颜色重新表达

在采用 RGBO 方案进行节能实验之前,本文将首先讨论整个过程,如图 7 所示。首先输入目标颜色数据。再将颜色数据转换到 XYZ 色彩空间中,计算出目标颜色的色度坐标。根据色度坐标进行颜色所属区域的判断,判断目标颜色是否落入 OGB 区域。如果落入 OGB 区域,则使用 OGB 混色方程(5),即可计算出需要三原色 LED 的开启强度。如果落入 ROB 区域,则依然使用 RGB 进行表达。

OGB 混色方程如式(5)所示。

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = O_{LED} \begin{bmatrix} X_O \\ Y_O \\ Z_O \end{bmatrix} + G_{LED} \begin{bmatrix} X_G \\ Y_G \\ Z_G \end{bmatrix} + B_{LED} \begin{bmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{bmatrix}, \quad (5)$$

其中, (X, Y, Z) 是目标颜色的三次刺激值, $(X_O,$

$Y_O, Z_O)$ 是橙色(O)LED 最大亮度时的三刺激值, O_{LED} 为 LED 的开启强度,范围为 $0 \sim 1$,即 $O_{LED} = 0$ 时 LED 关闭, $O_{LED} = 1$ 时 LED 发光强度最大。对于绿色(G)和蓝色(B),LED 是相同的。

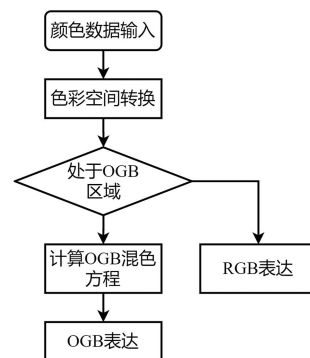


图 7 颜色表达流程图

Fig.7 Color re-expression flow chart

由于传统的多原色需要复杂的算法,例如建立查找表和矩阵切换^[13],使得三原色到多原色的转换复杂或者效率低下。使用色域分区判断选择不同的三原色,可以在降低系统复杂程度的同时,达到准确显示颜色的目的,并且引入第四种原色来取代人眼不敏感的颜色可以很好地降低显示系统的功耗。

3 实验与结果

3.1 实验装置组成

在本节中,将进行实验验证使用 OGB 代替 RGB 混色在表达 ΔOGB 区域内颜色时的节能效果。

整体实验装置主要由 3 部分组成:四原色 LED 背光板、控制部分和测量装置。LED 背光板由 48 个 RGBO LED 单元组成,如图 8 所示。光扩散板放置在 RGBO LED 背光板前,使混光均匀化。控制部件的核心组件是现场可编程门阵列(FPGA),用于控制每个 LED 的开启强度,例如在 $0 \sim 255$ 之间任意调整 LED 的强度。FPGA 控制还实现了颜色混合功能,即通过不同的原色混合复合颜色。本实验使用的测量装置是 Konica Minolta 的色彩亮度计 CS-150。CS-150 配备了具有与人眼光谱光视效率匹配的传感器。根据说明的要求,色度计垂直放置在 LED 背光板前方 60 cm。对于每个测试样点,进行 3 次重复测量。

3 个测量结果的平均值作为最终测量结果。整个系统使用 5 V 稳压电源进行供电,使用 Fluke15B+ 万用表进行电流测量,万用表的测量精度为 0.001 A。LED 背光板的功耗等于稳压电源的电压值与测得的电流值相乘,所以功率测量的精度为 0.005 W。

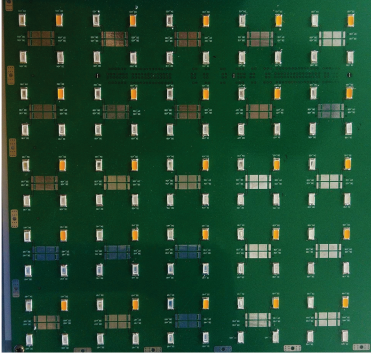


图 8 LED 背光板

Fig.8 LED backlight panel

3.2 色差计算方法

为了保证显示颜色的一致性,需要评估 OGB 三原色表达颜色的色度坐标和 RGB 表达颜色的色度坐标的偏差程度,也就是需要评估不同方案表达颜色的色差。本文引入如下公式计算色差 ΔE 。

$$X = \frac{x}{y}Y, \quad (6)$$

$$Y = Y, \quad (7)$$

$$Z = \frac{1-x-y}{y}Y, \quad (8)$$

$$L^* = 116f(Y/Y_n) - 16, \quad (9)$$

$$a^* = 500[f(X/X_n) - f(Y/Y_n)], \quad (10)$$

$$b^* = 200[f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)], \quad (11)$$

$$f(t) = \begin{cases} t^{1/3}, & t > 0.008856 \\ 7.787t + 0.138, & t \leq 0.008856 \end{cases}, \quad (12)$$

$$\Delta E = \sqrt{((\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2)}, \quad (13)$$

在上述公式中, x 和 y 表示颜色的色度坐标(x, y), X, Y, Z 代表颜色的三刺激值, X_n, Y_n, Z_n 表示白色 D65 的归一化 CIE XYZ 三刺激值。 L^*, a^*, b^* 表示某一颜色点在 CIE LAB 颜色空间中的坐标, $\Delta L^*, \Delta a^*, \Delta b^*$ 表示测量的颜色数据的

和对比颜色数据之间的差值。

目前 ΔE 值被广泛应用于评价人类视觉系统的颜色变化感知。如果 ΔE 值接近 0 则表明此时颜色差异非常小,几乎不可见,仅当 ΔE 值大于 2.3 时,人眼才能有效感知色差^[14]。

3.3 OGB 区域内部颜色对比节能实验

在 CIE 1931 xy 色度图中,为了验证 OGB 三原色的节能效果,本文在 ΔOGB 三角型区域选择了 12 个测试点,如图 9 所示。在测试时,所选取的 12 个测试点将在相同的亮度下分别使用 OGB LEDs 和 RGB LEDs 进行混色,然后比较这两种方式混色后背光板的能耗和色差。评估色差是为了保证使用 OGB 所形成的颜色和 RGB 形成的颜色在视觉上没有区别。

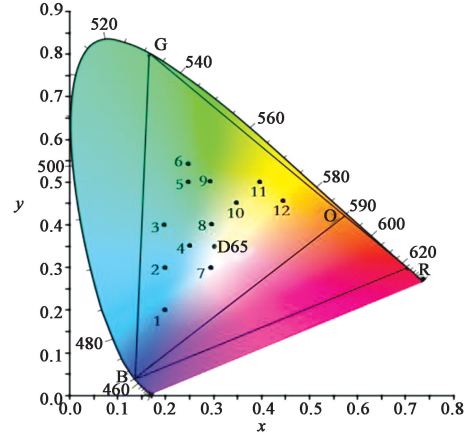


图 9 样点位置示意图

Fig.9 Sample point location schematic diagram

一般显示器的亮度范围为 250 ~ 350 cd/m²^[15],本文在亮度为 300 cd/m² 的情况下进行测试。具体步骤如第 2.2 节中所示。首先把目标颜色的亮度和色度坐标转换为三刺激值,再将其代入混色方程(5)。根据 OGB LEDs 的三刺激值,可以计算出 OGB 每种原色 LED 需要开启的强度,同理 RGB 每种原色 LED 开启的强度也可以计算得出。由于本文使用 FPGA 输出 8 位脉宽调制(PWM)信号来控制每一个 LED 的亮度,需要把每个 LED 开启的强度值量化到 0 ~ 255 的范围内,从而调控 LED 背光板的颜色。最后分别测量 RGB 和 OGB 两种方案表达出的颜色的亮度、色度坐标和功耗。

实验结果在表 1 中给出。表中样点序号 1-RGB 代表使用 RGB 表达颜色样点 1, 1-OGB 代

表使用 OGB 表达颜色样点 1, x 和 y 代表测量的颜色的色度坐标,亮度和功耗为实际测量得到, ΔE 代表色差,节能比例为 OGB 相比于 RGB 的节能比例。

实验结果表明,与现阶段流行的 RGB 三原色

相比,OGB 原色的应用可以节省功耗。与 RGB 三原色相比,使用 OGB 三原色表达颜色最大可节省 27.33% 的功耗,平均节省 15.59% 的功耗。并且色差 ΔE 不超过 1.9,不会产生明显的颜色差异。上述实验结果显示,对于 OGB 区域内部颜

表 1 RGB 与 OGB 的功耗对比

Tab.1 Comparison of power consumption between RGB and OGB

样点序号	x	y	亮度/($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$)	功耗/W	ΔE	节能比例/%
1-RGB	0.199	0.201	302.5	6.450	0.84	12.17
1-OGB	0.203	0.203	300.8	5.665		
2-RGB	0.202	0.298	301.3	6.230	1.41	8.51
2-OGB	0.205	0.302	300.3	5.700		
3-RGB	0.205	0.392	301.9	6.005	1.36	7.33
3-OGB	0.205	0.396	299.8	5.565		
4-RGB	0.248	0.346	302.6	6.505	1.58	16.68
4-OGB	0.251	0.345	300.6	5.420		
5-RGB	0.253	0.506	302.5	6.040	1.25	10.18
5-OGB	0.252	0.503	299.6	5.425		
6-RGB	0.263	0.553	303.5	6.065	1.06	10.96
6-OGB	0.265	0.550	302.6	5.400		
7-RGB	0.301	0.307	301.6	6.685	0.96	21.47
7-OGB	0.299	0.305	297.3	5.250		
8-RGB	0.297	0.392	301.3	6.420	0.70	16.59
8-OGB	0.299	0.395	300.2	5.355		
9-RGB	0.291	0.499	302.7	6.215	1.12	13.44
9-OGB	0.293	0.500	300.6	5.380		
10-RGB	0.356	0.451	299.6	6.360	0.83	20.36
10-OGB	0.358	0.455	297.9	5.065		
11-RGB	0.391	0.497	301.5	6.560	1.84	22.03
11-OGB	0.393	0.496	301.8	5.115		
12-RGB	0.441	0.449	302.7	6.715	0.92	27.33
12-OGB	0.446	0.449	298.2	4.880		

色,使用橙色代替红色,在颜色还原准确的前提下可以产生较好的节能效果。

通过上述实验结果可以分析得出,使用本文提出的颜色转换方法和 LED 控制方法,可以将不同方案表达的颜色亮度差别控制在 1% 以内。OGB 三原色混色后的色度坐标和 RGB 三原色混色后的色度坐标虽然不能完全一致,但是色差不超过 1.9,不会产生明显的色差。RGB 与 OGB 的功耗对比结果反映在图 10 中。可以看出,在 OGB 三角形内,使用 OGB 表达颜色对于所有的测试样点都有节能效果。

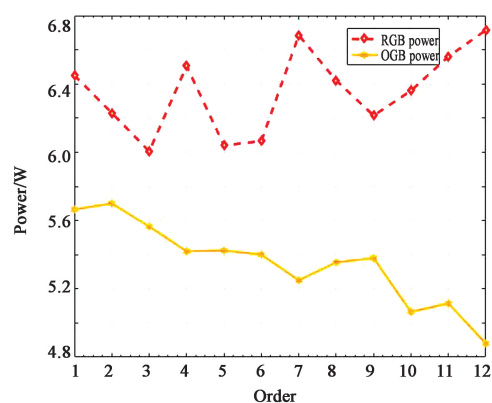


图 10 样点功耗对比

Fig.10 Comparison of sample point power

3.4 OGB 区域边界颜色对比节能实验

本文将测试使用 OGB LEDs 重现色域边界上饱和颜色的节能效果,以及验证颜色重现的准确性是否会受到不同三原色重新混合的影响。选取的测试点位置如图 11 所示。

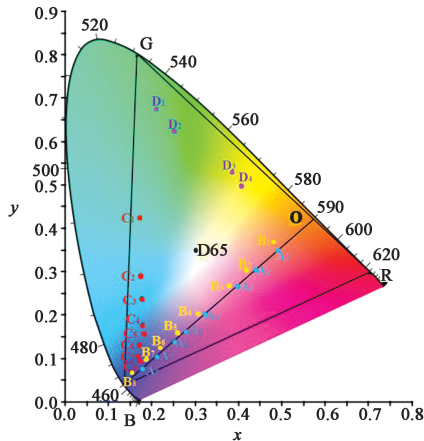


图 11 测试点位置示意图

Fig.11 Schematic diagram of test point location

图 12 和图 13 分别为 $A_1 \sim A_8$ 坐标点使用 RGB 和 OGB 表达时,功耗和色差的对比。使用 OGB 重新表达颜色对于 RGB 方案,功耗平均降低 43.2%。由于转换方法符合混色原理,色差可以控制在 1.4 以内。

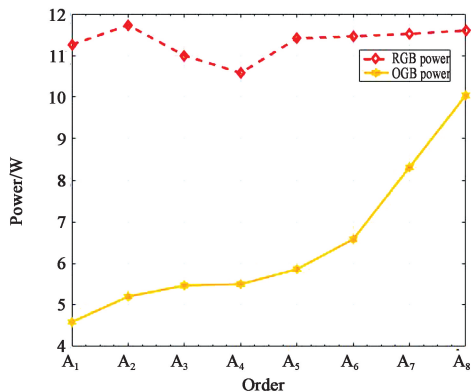


图 12 OB 直线上样点的功耗对比

Fig.12 Power comparison of the test points on OB line

图 14 和图 15 分别为 OB 直线左侧的 $B_1 \sim B_8$ 坐标点使用 RGB 和 OGB 表达时,功耗和色差的对比。可以看出,由于 $B_1 \sim B_8$ 测试点位于 $A_1 \sim A_8$ 附近,因此两组的曲线非常相似。重现这些样点颜色,需要较多红色分量。根据本文提出的理论,红色光的使用越少节能效果越明显。通过计算得出

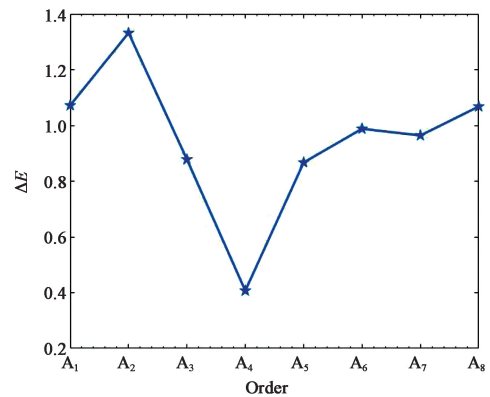


图 13 OB 线上测试点的色差

Fig.13 ΔE of the test points on OB line

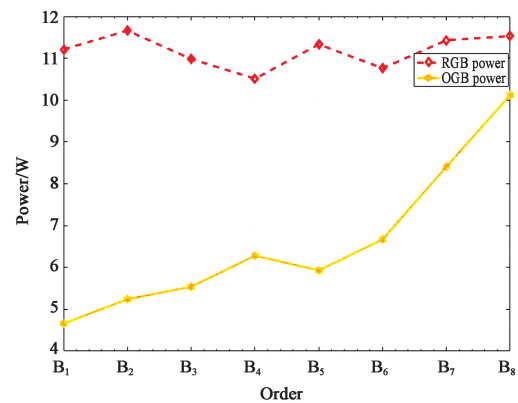


图 14 OB 线左侧测试点的功耗对比

Fig.14 Power comparison of the points on the left of OB line

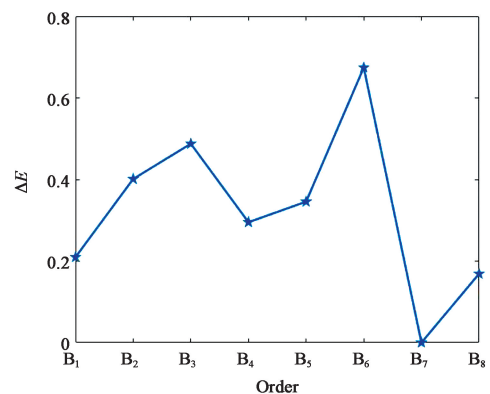


图 15 OB 线左侧测试点的色差

Fig.15 ΔE of the test points on the left of OB line

OGB 对比 RGB 平均可以节省 40% 的功耗。此外,图 15 显示了色差 ΔE 折线,所有值都小于 1。

图 16 和图 17 分别为 GB 直线左侧的 $C_1 \sim C_8$

坐标点使用 RGB 和 OGB 表达时,功耗和色差的对比。由于 $C_1 \sim C_8$ 坐标点在表达颜色时,需要的橙色/红色分量很小所以节能效果不显著。此外,图 17 显示了色差 ΔE ,所有值都小于 2。因此在这些测试点中,所使用的节能方法不会影响颜色感知。

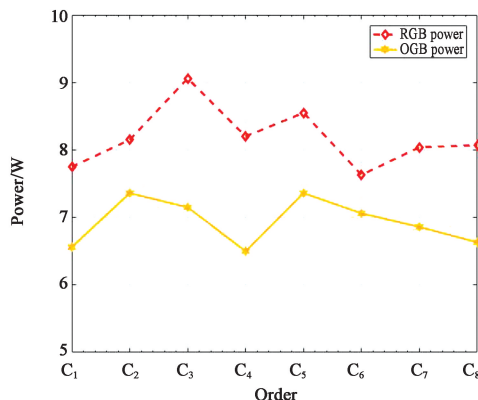


图 16 GB 线右侧测试点的功耗

Fig.16 Power comparison of the points on the right of GB line

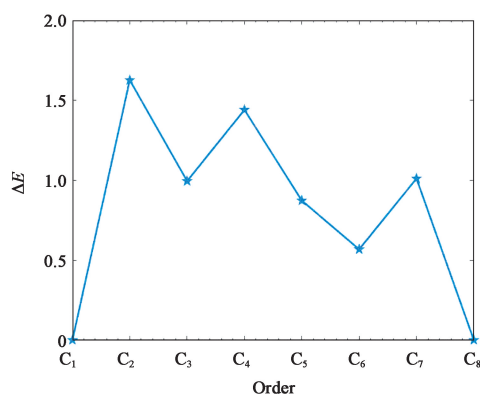


图 17 GB 线右侧测试点的色差

Fig.17 ΔE of the test points on the right of GB line

使用 RGB 和 OGB 表达 $D_1 \sim D_4$ 的功耗和色差结果如图 18 和图 19 所示。可以平均节省 13.4% 的功耗。可以看出在 OGB 具有良好节能效果的同时,重现颜色的色差也较小。证明此节能方法可以在不影响颜色感知的情况下很好地达到节能的目的。

3.5 改进的 RGBO 背光显示器

上一节中测试了 OGB 表达颜色的节能特性,表明使用 OGB 三原色相比于 RGB 三原色可以产生节能效果。在此基础上,本文提出一种改

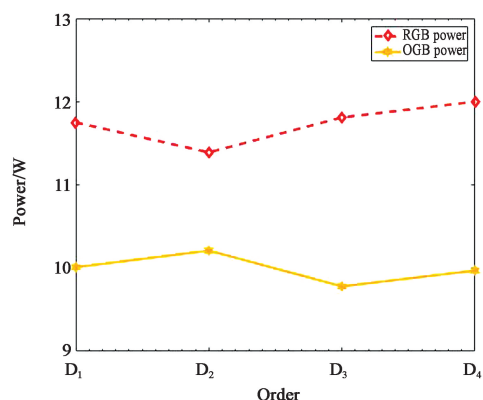


图 18 OG 线左侧测试点的功耗对比

Fig.18 Power comparison of the points on the left of OG line

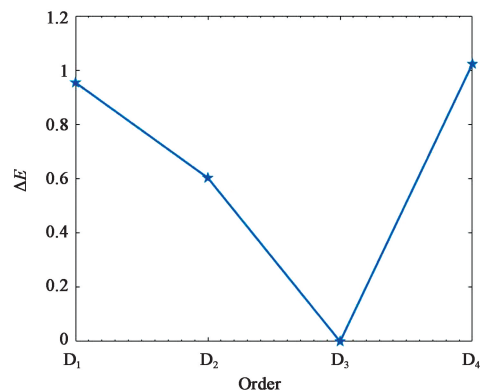


图 19 OG 线左侧测试点的色差

Fig.19 ΔE of the test points on the left of OG line

进的 RBGO 背光液晶显示器方案,使 RGBO 四原色 LED 背光板充当液晶显示的背光源,对比传统的 RGB 背光可以显著降低功耗。显示时,流程如图 7 所示。

本文选取国际标准的测试图像,以测试 RGB 和 RGBO 两种背光方案的液晶显示器显示图片时的节能效果。液晶显示器的背光亮度会直接影响功率大小,测试时,RGB 背光和 RGBO 背光均设置为 300 cd/m^2 。实测得 RGB 背光亮度为 302.1 cd/m^2 ,色度坐标为 $(0.312, 0.329)$,色温为 6533 K ;RGBO 背光亮度为 303.5 cd/m^2 ,色度坐标为 $(0.313, 0.327)$,色温为 6509 K ,两种背光的色差 ΔE 为 1.16。采用 RGBO 背光的液晶屏功耗为 5.255 W ,采用 RGB 背光的显示屏功耗为 6.760 W ,使用 RGBO 背光相比较于 RGB 背光,节能比例可以达到 22.26%。

通过比较图 20 中的测试结果,可以看出两种背光的显示器显示出的图像区别较小,人眼不会产生明显的颜色感知差异。在 RGB 和 RGBO 背光亮度基本相同的前提下,使用 RGBO 四原色背光的液晶显示器的方案更加节能,证明本文提出的节能方法对于当前主流的液晶显示器具有良好

的节能效果。

4 结 论

本文根据现代显示技术的显示准确和低功耗的要求,提出了使用人眼敏感的橙色代替人眼不敏感的红色可以产生节能效果的理论。根据色域分区原理,介绍了一种 OGB 三原色重新表达颜色方法,研究了该方案在与现有三原色系统兼容的前提下,可以达到的节能效果。最后,基于上述理论,本文对 OGB 三原色表达一些特定色度坐标的节能性能和颜色表达的准确性进行了实验。实验结果证明:表达 OGB 区域内颜色时,使用 OGB LEDs 代替 RGB LEDs 最高可以节省 49% 的能耗,平均可以节省 15.59% 的能耗。同一颜色在使用两种三原色方案表达时,色差最大不超过 1.9。通过改进的 RGBO LED 背光液晶显示器进行了标准图像的测试。结果表明,使用 RGBO 方案在降低显示装置功耗的同时,可以较为准确地再现原始图像。本文方法对于目前显示器节能的要求有很大的借鉴意义。



图 20 两种背光的液晶显示器显示的图像
Fig.20 Images displayed by two backlight LCD

参 考 文 献:

- [1] LEE Y H, HUANG K C, LEE W, *et al.* Low-power displays with dye-doped bistable chiral-tilted homeotropic nematic liquid crystals [J]. *Journal of Display Technology*, 2014, 10(12): 1106-1109.
- [2] BETAS R S. *Billmeyer and Saltzman Principles of Color Technology* [M]. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, 2000.
- [3] 宇欣, 雷志春. 宽色域视频图像技术研究与发展[J]. 液晶与显示, 2020, 35(3): 262-271.
YU X, LEI Z C. Overview on research and development of wide color gamut video image technology [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2020, 35(3): 262-271. (in Chinese)
- [4] 查宝, 李吉, 陈孝贤. 多原色技术在液晶显示器中的应用[J]. 光电子技术, 2019, 39(2): 101-104.
ZHA B, LI J, CHEN H. Application of multi-primary color technology in liquid crystal display [J]. *Optoelectronic Technology*, 2019, 39(2): 101-104. (in Chinese)
- [5] YOSHIYAMA K, TERAGAWA M, YOSHIDA A, *et al.* Power-saving: a new advantage of multi-primary color displays derived by numerical analysis [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2010, 41(1): 416-419.
- [6] WANG Y C, HUANG B S, HSIEH K S, *et al.* Comparative evaluation of the imaging performance of multi-primary color LCDs with RGBCW and RGBCY pixel units by simulation [J]. *Journal of Display Technology*, 2014, 10(9): 729-736.
- [7] SHARP. Sharp national brand advertising campaign adds color to dynamic HDTV landscape——“you have to see it, to see it”[EB/OL]. (2010-03-18)[2020-04-15]. http://www.sharppusa.com/AboutSharp/NewsAndEvents/PressReleases/2010/March/2010_03_18_QuadPixel.aspx.
- [8] CHEN C C, LEE M T, WU S F, *et al.* Low power consumption and wide color gamut AMOLED display with four primary colors [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2015, 46(1): 1035-1038.
- [9] XIONG Y, DENG F, XU S, *et al.* Performance analysis of multi-primary color display based on OLEDs/PLEDs

- [J]. *Optics Communications*, 2017, 398: 49-55.
- [10] SHARPE L T, STOCKMAN A, JAGLA W, *et al.* A luminous efficiency function, $V_{D65} * (\lambda)$, for daylight adaptation: a correction [J]. *Color Research and Application*, 2011, 36(1): 42-46.
- [11] LI H R, GAO H, KIRCA G, *et al.* Energy-saving display by color pixel re-representation [J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2020, doi: 10.1109/TCSVT.2020.2966785.
- [12] International Electrotechnical Commission. Area: lighting/radiation, quantities and units; IEV ref 845-01-54; radiant efficiency [EB/OL]. [2020-05-15]. <http://www.electropedia.org/iev/iev.nsf/display?openform&ievref=845-01-54>.
- [13] AJITO T, OHSAWA K, OBI T, *et al.* Color conversion method for multiprimary display using matrix switching [J]. *Optical Review*, 2001, 8(3): 191-197.
- [14] CHOI J H, LEE M, KANG K, *et al.* Adaptive color saturation control for low power RGBW OLED displays [J]. *Journal of Display Technology*, 2016, 12(8): 784-790.
- [15] TYSON J, CARMACK C. How computer monitors work [EB/OL]. [2020-04-15]. <https://computer.howstuffworks.com/monitor.htm>.

作者简介:



高 寒(1995—),男,河北石家庄人,硕士研究生,2018 年于兰州交通大学获得学士学位,主要从事节能显示技术的研究。E-mail: arthurgh@tju.edu.cn



雷志春(1964—),男,河北迁安人,博士,教授,1998 年于德国多特蒙德大学获得博士学位,主要从事图像处理、显示技术等研究。E-mail: zclei@tju.edu.cn