

文章编号:1007-2780(2015)02-0365-04

满足夜视兼容显示应用的三基色 LED 背光配色方法

马红星¹, 陆小松^{2*}

- (1. 中国人民解放军海军驻合肥地区军事代表室, 安徽 合肥 230088;
2. 中航华东光电有限公司, 安徽 芜湖 241002)

摘要:三基色 LED 背光存在两个独立的配色自由度, 约束条件为夜视辐亮度不超标及与参考点之间色坐标偏差最小, 在这两个约束条件下存在唯一最优的配色方案。本文通过二元线性回归方法, 得到色坐标和辐亮度之间的近似依赖关系, 并给出通过最少三次试配色获得的辐亮度测量结果推出最佳色坐标配置的计算方法。通过对多于三次测量数据残差的分析, 表明在基本测量精度和样本点选取范围内, 辐亮度估计的偏差可以控制在 2% 以内。

关键词:夜视兼容; 三基色; LED 背光; 配色; 回归分析

中图分类号: TN973.93, V243.6 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20153002.0365

Color matching of LED backlight based on three primary colors for NVIS compatible display

MA Hong-xing¹, LU Xiao-song^{2*}

- (1. *Military Agent of PLA Navy in Hefei Region, Hefei, 230088, China;*
2. *AVIC Huadong Photoelectric Co., Ltd, Wuhu 241002, China*)

Abstract: There are two independent chromatic variables while matching the color of LED backlight based on three primary colors. Night vision radiant luminance and the departure from the color coordinates of certain reference point are two restrictions, under which there exists one and only best color matching scheme. By means of two variables linear regression analysis, approximate relations between radiance and color coordinates are given. Through trial and error procedure from least three rounds of radiant luminance measurement, the best configuration of color can be calculated. According to the analysis of mean residual, the error of estimated radiation can be less than 2% in basic accuracy of measurements and proper range of sampling points.

Key words: NVIS compatible; three primary colors; LED backlight; color matching; regression analysis

1 引言

飞机执行夜间任务时,夜视成像系统(以下简称 NVIS)是重要的辅助设备。所谓 NVIS,是指在夜光条件下利用像增强管对景物特征增强呈现的系统,有利于及时发现辨别光强微弱、谱段超出可见范围、肉眼难以辨别的目标。NVIS 可以集成在头戴式显示装置上,使用时不会频繁切换或卸装,要求同时能观察仪表面板和舱外的目标,因此对显示设备的成像兼容性有要求。

由于战术目标的特征,NVIS 的像增强管一般都是对近红外波段及少部分红光有较强的增益率,如果显示设备本底辐射中有过多的近红外成分,那么透过 NVIS 看如同一个整体很亮的发光面,不仅会掩盖显示屏上的字符线条,也使对舱外目标的视觉分辨力下降。因此针对具有不同光谱转换特性的 NVIS,GJB1394 规定了不同的舱内照明和显示设备近红外辐射的考核限定指标。对于彩色显示器,其针对 B 类像增强设备的兼容性要求为:当显示“白色”时,折算到 1.713 cd/m^2 亮度下的夜视响应辐射亮度不应高于 $2.2 \times 10^{-9}\text{ W}/(\text{sr} \cdot \text{cm}^2)$,对于其他显示颜色画面,不应超过 $1.1 \times 10^{-8}\text{ W}/(\text{sr} \cdot \text{cm}^2)^{[1]}$ 。

液晶显示器是目前机载航电系统应用得最普遍的显示设备,尤其在采用 LED 背光之后,具有低能耗、高可靠性、抗干扰、易调制、低压驱动、使用寿命长等优点。通常为了达到较高的发光转换效率以满足白昼环境亮度需求,一般使用的都是蓝色芯片加黄色荧光粉的白光 LED,其辐射谱密度随波长下降趋势过于平缓,在 650 nm 以后仍具有较高的辐射能量,这对满足彩色 class B 型设备夜视兼容性极为不利,实测数据表明白场辐亮度在 $10^{-8} \sim 10^{-7}\text{ W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr})$ 量级,远远超出国军标要求。

针对这一问题,目前存在两种解决途径,一是在背光源与液晶面板之间以能够吸收或反射近红外辐射的夜视滤光片隔离^[2-3];二是在白光 LED 阵列中镶嵌排入近红外辐射量较少的其他 LED,在夜间工作模式关闭白光 LED 而只用这类特殊 LED,这里的特殊 LED 通常为三基色 LED^[4-7],以橙光 LED 提供红色分量,使液晶显示器符合夜视兼容条件,且能适当拓展色域^[8];或采用上述两

种方式的结合^[9]。

但采用这些方案都需要牺牲夜间显示色彩,且未给出具体的色彩比例控制方法。因为用于提供红色分量的无论是橙色(Orange)、金红色(Amber)LED,由于发光二极管本身的工作原理和材料特性,其辐射光谱下降速率和截止程度不高,因此为了保证模块在 $620 \sim 900\text{ nm}$ 之间的总体辐射水平下降,只能靠使其主波长尽可能往短波方向移动的方法,这样就削弱了显示红色的色彩表现力以及显示白色的白平衡效果(红场偏黄、白场偏绿)。采用干涉或吸收型滤光片也存在类似问题,因为在红色和近红外光交叠区,光谱透射率的变化率 $|\Delta T/\Delta \lambda|$ 存在上限,不能在削弱近红外辐射的同时保证红色分量的显示质量。

我们通过对实测数据进行回归分析的方法,找出辐亮度和配色色坐标的依赖关系,并据此求出特定辐亮度限制下与目标色偏离最小的点,对如何配色具有明确的指导意义。

2 实验

对于色彩的衡量一般通过 CIE1976 色空间下色坐标相对于目标色点的偏移量来表示,一般要求在夜模式显示白场时,距离(0.19,0.49)参考点的偏差越小越好。这样如果采用三基色 LED 进行配色,同时存在两个限制条件——辐亮度上限和色差上限,存在两个配色自由度(u,v);或三基色权重之比),有可能找到一个最佳的配色方法,使得辐亮度刚好不超标的前提下保证色差最小。

我们通过实验验证线性估计是否合理以及在测试精度下所需的最少测量组数。实验所用的 $26.4\text{ cm}(10.4\text{ in})$ 液晶显示模块,液晶屏采用 NEC 公司 NL10276BC20-18 常白型 TN 屏,背光昼模式光源采用日亚某型白光 LED,夜模式采用 OGB 三色封装 LED,在常温和额定工作电流下三基色主波长分别为 610 nm , 530 nm 和 470 nm ,辐射谱半高全宽分别为 18 nm , 32 nm 和 30 nm 。

辐亮度测试仪器为带有制冷光电倍增管的 Optronics Laboratories 公司 OL750 型光谱辐射度计,测量视场为 0.3° ,能够对 $350 \sim 1100\text{ nm}$ 谱段以 1 nm 分辨率对动态范围超过 10^9 的辐射量

进行测量,色坐标测试精度为±0.001,辐亮度平均测量精度为±0.1%。

在夜模式下在白平衡附近通过改变不同的 LED 驱动电流占空比来调整三基色配比,测量多组色坐标和辐亮度的关系,获得数据见表 1。

表 1 夜视辐亮度与色度关系
Table 1 NVIS radiance vs. chroma

色坐标 u	色坐标 v	与参考 色偏差	夜视辐亮度/ ($\text{W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$)
0.190	0.490	0	2.65
0.170	0.510	0.028 3	1.90
0.175	0.500	0.018 0	2.15
0.182	0.485	0.009 4	2.50
0.166	0.516	0.035 4	1.76
0.197	0.470	0.021 2	2.96

3 结果与讨论

二元线性回归最少只需要 3 个样本点就可确定回归方程,如果 u 、 v 与辐亮度 R 之间采用线性估计系统误差不超过偶然误差,那么 3 次测量就具有代表性,能满足配色计算需求;反之,则需要更多数据点以消除误差。

以二维色坐标为自变量,辐亮度为因变量,由前 3 组数据得到的回归方程为:

$$R=25u-12.5v+4.025.$$
 (1)

将后 3 组数据代入进行检验,得到的辐亮度与实测值相比分别相差 0.5%,−2%和−3.9%。考虑到白平衡附近色坐标和辐亮度有一定测量误差,辐亮度绝对偏差只要不大于 0.03(<2%)即在测量合理复合误差范围内。第四、第五组数据略超出这一范围。

但考虑到夜视兼容配色两个限制条件,如果试配色取样点只取那些颜色偏离不是过大(例如划定 $u=0.19\pm0.02$, $v=0.49\pm0.02$)、辐亮度不是离 $2.2\times10^{-9}\text{ W}/(\text{sr}\cdot\text{cm}^2)$ 限制余量过大或超标过多的点,则估计的线性性或残差限制可以得到保证,最少只需要选择 3 点。

上述结果与我们的实际经验相符,模块夜模式配色越“绿”,辐亮度越低。下面给出在特定辐亮度限制 R_{ub} 下与参考点(u_0, v_0)色差最小的配色点计算方法。

不失一般性,对于三基色 LED 背光模块,设其辐亮度与色坐标之间的通过上述线性回归方法得到的关系式为:

$$R=k_1u+k_2v+C.$$
 (2)

根据辐亮度上限和与参照点偏差极值条件可以求出最优配色点。

$$\begin{cases} k_2(u-u_i)+k_2(v-v_i)=R_{ub}-R_i \\ u-u_0+(v-v_0)\cdot\left(-\frac{k_2}{k_2}\right)=0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} u=u_0+\frac{k_2}{k_2^2+k_2^2} \\ \left[R_{ub}-R_i+k_2(u_i-u_0)+k_2(v_i-v_0)\right] \\ v=v_0+\frac{k_2}{k_2^2+k_2^2} \\ \left[R_{ub}-R_i+k_2(u_i-u_0)+k_2(v_i-v_0)\right] \end{cases}.$$
 (3)

其中 u_i 、 v_i 、 R_i 是实验测得的任意一组色坐标—辐亮度数值。

4 结 论

提出了采用三基色 LED 作为夜视兼容解决方案的机载液晶显示器配色方法,可以通过最少

3 次试配色获得的色坐标、辐亮度对应关系,进而求出在特定辐亮度、色差限制下最佳的颜色组合关系,从而能够快速、有效地确定显示器背光配比状态,兼顾夜视兼容性和夜间显示白平衡效果,使得飞行员无论是使用夜视增强设备还是直接观察显示屏都能达到较理想的观察效果。

参 考 文 献:

- [1] 国防科技工业委员会. GJB1394-1986 与夜视成像系统兼容的飞机内部照明[S]. 北京:国防科工委军标出版发行部,1994.
Commission of Science Technology and Industry for National Defense. GJB1394-1986 and be compatible with night vision imaging system for aircraft interior lighting[S]. Beijing: Science Technology and Industry for National Defense Military Standard Publishing Department,1994. (in Chinese)
- [2] 门金凤,程海峰,陈朝辉,等. 夜视兼容近红外吸收滤光片的研究进展 [J]. 材料导报,2008,22(6):13-16.
Men J F,Cheng H F,Chen Z H, *et al.* Research process in NIR absorbing filter for NVIS-compatible lighting [J]. *Journal of Materials*, 2008,22(6):13-16. (in Chinese)
- [3] 吴华夏,沈健,董戴,等. 特殊滤光片及夜视兼容型背光光线膜组:中国专利,101581807[P]. 2009-11-18.
Wu H X,Shen J,Dong D, *et al.* Special filter and night vision compatible backlight light membrane group: Chinese patent,101581807[P]. 2009-11-18. (in Chinese)
- [4] 刘波,章小兵. 使用多色 LED 补色的背光源 [J]. 液晶与显示,2010,25(5):702-705.
Liu B,Zhang X B. Backlight unit with multi-color LEDs used for color complementation [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2010, 25(5): 702-705. (in Chinese)
- [5] Zager P,Uljasz T R. 夜视兼容显示器背光:美国专利,7,525,611 [P]. 2009-04-28.
Zager P A,Uljasz T R. Night Vision Compatible display backlight:US patent,7,525,611 [P]. 2009-04-28.
- [6] 李明远,陈盈君,肖俊,等. 一种使用 LED 光源的具有夜视兼容性的 LCD 背光系统:中国专利,1916732[P]. 2007-02-21.
Li M Y,Chen Y J,Xiao J, *et al.* Using a LED light source with night vision compatibility of the LCD backlight system: Chinese patent,1916732[P]. 2007-02-21. (in Chinese)
- [7] 吴金华,方俊,余雷,等. 一种与夜视成像系统兼容的 LED 光源及其照明系统:中国专利,1936416[P]. 2007-03-28.
Wu J H,Fang J,Yu L, *et al.* A kind of a LED light source compatible with night vision imaging system and lighting system: Chinese patent,1936416[P]. 2007-03-28. (in Chinese)
- [8] Ouyang M,Huang S W. Considerations between color gamut and brightness for multi-primary color displays [J]. *J. Display Tech.*, 2007, 3 (1): 71-82.
- [9] Berthou N,Breda J M. Backlighting device for display screen by night-vision compatible transmission:US patent, 6847173[P]. 2005-01-25.

作者简介:马红星(1976—),男,河北唐县人,硕士,工程师,主要从事军用液晶显示模块技术研究。E-mail:m_hxing@163.com