

DLP背投电视色轮滤色片的理论分析和设计^{*,*}赵星^{1*}, 方志良¹, 崔继承², 张新², 母国光¹

(1. 南开大学现代光学研究所, 天津 300071; 2. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所光学技术中心, 吉林 长春 130033)

摘要:结合色度学的基本理论和 DLP(digital light processing) 投影电视光学引擎的工作原理, 分析了色轮滤色片光谱透过率变化对系统显示三原色的影响, 以夏新 DL52HWT 型投影电视光学引擎的色度学特性为目标, 进行了色轮系统的设计。通过与原有系统的原色色度、白场平衡和颜色复现误差等相关色度学特性进行比较, 设计结果达到了预期目标, 能够满足彩色电视显示的需要。

关键词:投影显示; 色轮设计; 色度学; 数字光处理(DLP)

中图分类号: TN949.191; TN942.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-0086(2006)12-1466-04

Theoretical Analysis and Design of the Color Wheel's Filter in DLP Rear-Projection TV

ZHAO Xing^{1*}, FANG Zhi-liang¹, CUI Ji-cheng², ZHANG Xin², MU Gu-guang¹

(1. Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin 300071, China; 2. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: The influence of the spectral transmission variation of the color wheel's filters on the display primary colors was analyzed based on the fundamental theory of the colourimetry and the characteristics of the digital light processing (DLP) optical engine. The color wheel system was designed aiming at the colorimetric characteristics of the optical engine in the AMOI™ DL52HWT rear-projection TV. The experimental results show that our design can satisfy with the need of the TV display compared with the referenced system.

Key words: projection display; design of the color wheel; colourimetry; digital light processing (DLP)

1 引言

单片式数字光处理(DLP)投影系统光学引擎由光源、色轮、积分方棒、DMD芯片和投影物镜组成, 然而目前关于色轮的研究报道较少^[1-3], 并没有从理论的角度对色轮进行深入研究和探讨。为此, 本文从色度学的基本理论入手, 结合 DLP 光学引擎的工作原理及其色度特性理论计算公式, 分析了色轮上基色滤色片的光谱透过率变化对系统显示原色的影响, 并以夏新 DL54HWT 型背投电视光学引擎的色度学特性为目标, 提出了其色轮系统的自主设计方案, 得到

了满意的设计结果。

2 基本理论

目前, 广泛用于背投电视的为“六段式”色轮, 即扇形滤色片按照 RGBRGB 的顺序以不同的扇形开口角度排列于圆形基片上。

根据色度学的基本理论^[4,5], 可以用

$$\begin{cases} X = \sum S(\lambda) \tau(\lambda) \bar{x}(\lambda) \Delta\lambda \\ Y = \sum S(\lambda) \tau(\lambda) \bar{y}(\lambda) \Delta\lambda \\ Z = \sum S(\lambda) \tau(\lambda) \bar{z}(\lambda) \Delta\lambda \end{cases} \quad (1)$$

* 收稿日期: 2006-02-16 修订日期: 2006-04-14

* E-mail: zhaoxingzhx@yahoo.com.cn

$$\begin{cases} x = \frac{X}{X + Y + Z} \\ y = \frac{Y}{X + Y + Z} \\ z = \frac{Z}{X + Y + Z} \\ x + y + z = 1 \end{cases} \quad (2)$$

计算某种颜色的三刺激值 X 、 Y 、 Z 以及该颜色在 CIE1931 色度图中的色度坐标 x 、 y 、 z 。式中： $S(\lambda)$ 为光源的相对光谱功率分布； $\tau(\lambda)$ 为物体或者滤色片的光谱透过率； $\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$ 为 CIE1931 标准观察者光谱三刺激值； $\Delta\lambda$ 为波长间隔。其中， $S(\lambda)$ 、 $\tau(\lambda)$ 可通过实际测量得到； $\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$ 可通过查表的方法得到。

结合色度学的基本理论和色轮的工作原理^[2]，我们提出了单片式 DL P 投影电视光学引擎彩色显示的色度计算公式^[6]。利用该公式及式(1)和(2)，对夏新 DL52 HWT 型背投电视的光学引擎进行了计算，通过计算系统白场平衡的最高色温值发现，12201 K 的计算结果与厂商所提供的 12000 K 的最高色温值基本符合^[6]。

3 理论计算和分析

三原色的色度特性完全由 $S(\lambda)$ 和色轮上基色滤色片的 $\tau(\lambda)$ 决定。这里定义 $\Delta\lambda$ 为滤色片的 $\tau(\lambda)$ 曲线通带起止波长与相应截止波长的差。选择通带宽度、通带起止波长以及 $\Delta\lambda$ 作为分析过程中的主要参数。为了便于分析和对比，以夏新 DL52 HWT 型投影电视的 $S(\lambda)$ 为基础^[6]，分析色轮滤色片的 $\tau(\lambda)$ 对系统显示三原色的影响。

首先确定红绿蓝滤色片通带波长的最大变化范围为 570~700、495~570 和 400~500 nm，然后在各自的**最大变化范围内改变光谱透过率的通带宽度和通带的起止波长，再代入式(1)和(2)计算三原色色度坐标的变化趋势。在计算过程中，取各原色光谱透过率曲线的 $\Delta\lambda=20$ nm，同时取红绿蓝通带平均峰值透过率为 99 %、99 %和 95 %。计算结果如图 1 所示。

图 1 中，三角形为我国使用的 PAL 制式电视信号的显示色域；标有 R、G、B 的 3 组曲线分别描述出了当色轮滤色片光谱透过率通带宽度和通带起止波长变化时，红绿蓝三原色的变化趋势；数字表示光谱透过率的通带宽度；单独的一条曲线则表示当通带宽度一定而通带的起止波变化时，显示原色的色度坐标变化。

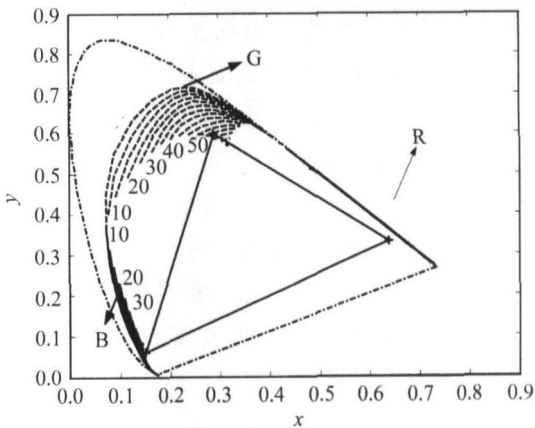


图 1 通带波长范围的变化对显示三原色的影响
Fig. 1 Influence with the variation of the band pass on the display primary colors

对于图中任何一种原色所对应的曲线，当该原色滤色片的光谱透过率通带宽度增大时，相应的色度点坐标将向 PAL 制式对应的色三角顶点移动。由图可以看到，红原色对光谱透过率的通带变化量最不敏感，而绿原色对此变化最敏感，蓝原色则介于二者之间。

固定红绿蓝三种原色的通带宽度和起止波长，以 5 nm 为步长在 0~50 nm 范围内改变 $\Delta\lambda$ 的大小，分析其对三原色色度特性的影响。经过计算发现，选择不同的通带宽度和起止波长，当改变 $\Delta\lambda$ 时，三原色色度坐标均有相似的变化规律。这里为了说明问题，仅选择红绿蓝三原色的通带分别为 570~620、495~545 和 400~450 nm 进行计算，计算结果如图 2 所示。

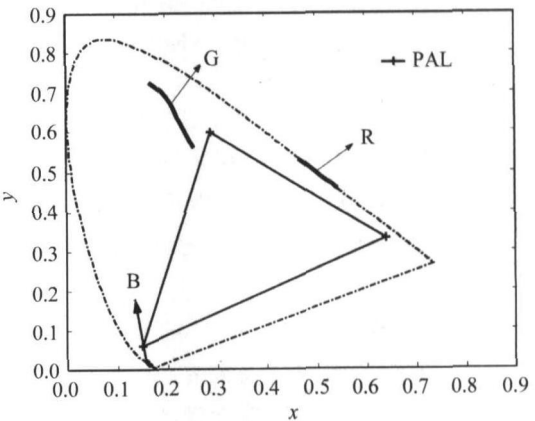


图 2 $\Delta\lambda$ 的变化对显示三原色的影响
Fig. 2 Influence with the variation of $\Delta\lambda$ on the display primary colors

结合计算结果和图 2 可以看出,当 $\Delta\lambda$ 逐渐增大时,红、蓝原色的色度点将沿着图所示的轨迹向左上方移动,而绿原色的色度点则沿着图的轨迹向右下方移动,并且绿原色对 $\Delta\lambda$ 的变化最为敏感,而红、蓝原色对 $\Delta\lambda$ 变化的敏感程度表现一般。

从整体上,由上述分析结果可以发现,在红绿蓝三原色当中,绿原色较红、蓝原色对光谱透过率的变化更为敏感。因此,在对色轮进行设计和加工的过程中,对绿原色滤色片的光谱透过率误差控制要求较严。

4 色轮滤色片的设计

以夏新 DL52 HWT 型投影电视光学引擎的显示原色、白场平衡等原有色度学特性指标为设计目标,在不改变光学引擎其它组件的条件下,对色轮滤色片的光谱透过率进行设计,得到的设计结果如图 3 所示。

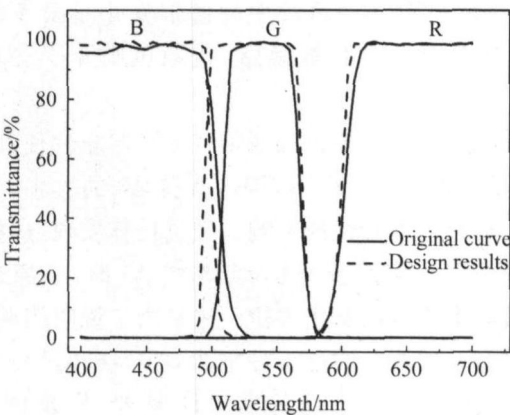


图 3 滤色片光谱透过率曲线的设计结果
Fig. 3 Design results of the spectral transmittance curve for the color filter

将膜系设计后的数据代入到式(1)和(2)中,同时利用孟塞尔样品色对原有系统和采用自主设计方案的系统计算颜色复现误差^[4,7],可以得到 2 个系统的计算结果如表 1 所示,在色度图中的色域比较如图 4 所示。

通常,若 13 号样品色(皮肤色)的复现误差小于 5 个色差单位,并且平均颜色误差在 5~8 个色差单位范围内,便达到视觉允许的较优颜色复现效果。从表 1 的数据以及图 4 的色域比较图,设计结果在三原色色度、白场平衡的色度和色温以及色彩还原特性上与原有系统差别很小。因此,设计结果能与原有系统的光学引擎相匹配,满足实际电视显示的需要。

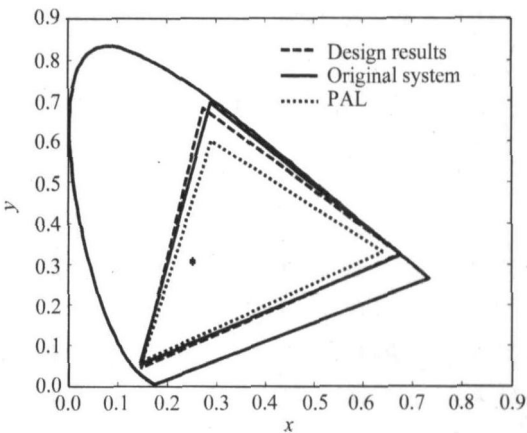


图 4 原有系统和设计结果的显示色域比较
Fig. 4 Comparison of the gamut between original system and design results

表 1 原有系统和设计结果的色度学特性对比

Tab. 1 Comparison of chromatic character between original system and design results

	Original system		Design results	
	x	y	x	y
Red(R)	0.67723	0.32257	0.67517	0.32401
Green(G)	0.28740	0.69362	0.27371	0.68145
Blue(B)	0.14575	0.051803	0.14740	0.044096
White Chromaticity	0.252349	0.304805	0.252469	0.309581
balance Maximum color temperature	12201		11803	
Average color recurrent errors	5.541975		5.84015	
Color recurrent errors of No. 13 sample color	5.642717		5.31301	

5 结 论

结合色度学的基本理论和色轮的工作原理,分析了色轮滤色片光谱透过率的变化对系统显示三原色的影响,其中绿原色的色度特性对滤色片光谱透过率的变化较红、蓝原色更为敏感。同时对夏新 DL52 HWT 型背投电视光学引擎色轮滤色片的光谱透过率进行重新设计,设计方案在显示原色、白场平衡和色彩还原能力上均符合要求,能够满足实际彩色电视显示的要求。

参考文献:

[1] FANG Chuan Ho, Junejei Huang. A projection system composed of three pieces of DLP panels[A]. SPIE[C]. 2005, 5740:88-96.
[2] ZHOU Jing-xian, WU Rong-zhi. Digital micromirror device [J]. Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays,

- 2003, **18**(6):445-449. (in Chinese)
- [3] SHENG Yi-qiang, FANG Zhi-liang, MU Guo-guang, et al. Design of illumination systems for projection display[J]. Journal of Optoelectronics · Laser (光电子 · 激光), 2004, **15**(4):416-419. (in Chinese)
- [4] JING Qi-cheng, JIAO Shu-lan. Colourometry[M]. Beijing: Science Press, 1979. 91-98, 279-282, 291-292. (in Chinese)
- [5] ZHANG Tie-qiang, ZHENG Yong-mei, LIN Xiao-long. A study on the surface color characteristic and reflecting spectrum of a minim skin[J]. Journal of Optoelectronics · Laser(光电子 · 激光), 2001, **12**(9):972-974. (in Chinese)
- [6] ZHAO Xing, FANG Zhi-liang, SONG Li-pei, et al. Study on colorimetric characters of the digital light processing rear projection television[J]. Acta Optica Sinica (accepted and will be published in 2007, 36(2), in Chinese)
- [7] ZHOU Ju-wei, FANG Zhi-liang, YANG Sheng-jie, et al. Study of multi-spectral photography with θ modulator and pseudo-color fusion[J]. Journal of Optoelectronics · Laser(光电子 · 激光), 2005, **16**(10):1248-1252. (in Chinese)

作者简介:

赵星 (1980 -),男,博士研究生,主要从事投影显示以及光学系统设计的研究.

www.cnki.net