

基于LED背光源区域控制的LCD系统色域分析

李福文¹, 金伟其^{1*}, 邵喜斌², 张丽蕾², 万丽芳²

1. 北京理工大学光电学院, 北京 100081

2. 京东方科技集团股份有限公司中央研究院, 北京 100016

摘要 介绍了液晶显示(LCD)系统普遍使用的色域计算方法。针对LCD系统的色域主要由背光源的光谱特性、彩膜的光谱透过率特性和液晶面板的特性三个方面的因素决定,采用LED作为背光源来提高系统整体的色彩表现能力,利用色度学的方法,通过对LED背光源光谱的分析计算,比较了有无区域控制的背光源经过彩膜后系统色域的大小,并分析了液晶面板对比度的变化分别对两种模式下背光源色域的影响情况。分析和计算结果表明:采用区域控制的LED背光源可以改善由于彩膜性能的不完善所引起的再现三基色色彩饱和度降低的现象,同时该模式下系统色域受液晶面板对比度变化的影响很小,即降低了系统色域对彩膜性能和液晶面板性能的要求,因此对于提高现有LCD系统的色域具有非常重要的意义。

关键词 液晶显示; 色域; 光谱分析; 区域控制; LED背光源

中图分类号: O644.1 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2010)05-1371-05

引言

显示器作为一种彩色图像的输出设备,其再现色彩的能力——色域是其重要的性能指标,随着显示技术的发展,液晶显示器(LCD)已成为众多平面显示器件中发展最成熟、应用面最广、实现产业化并仍在迅猛发展着的一种显示器件。但传统LCD显示器与CRT显示器相比,不仅难以获得均匀的亮度输出,而且色域表现不足。因此,提高LCD显示性能的技术成为近年来国际上研究的热点。基于RGB-LED背光源的区域控制技术是当前表现突出的一种方法^[1,2],其根据显示图像内容改变背光源整体或局部的亮度/颜色,并对LCD控制信号调制,在保持图像亮度的前提下,不仅可提高图像对比度,有效节省功耗,而且可扩展显示色域。冷阴极荧光灯(CCFL)背光的LCD显示色域一般为NTSC的75%,而根据文献[3]报道,RGB-LED背光源色域可达到NTSC标准的155%以上(CIE1976)。

本文将在介绍色域评价方法的基础上,利用色度学方法,研究RGB-LED背光源及其透过彩膜的色域,为区域控制背光源及其彩膜的设计和评价奠定理论基础。

1 色域及其表示方法

色域是颜色的表现范围,通常用均匀颜色空间中的一个有界体积描述。按照GB/T 5698—2001的定义^[4],色域是指能够满足一定条件的颜色集合在色品图或色空间内的范围。色域可分为彩色输入/输出设备的色域和彩色图像的色域两种,其中设备的色域是指设备本身或由设备在彩色复制媒质上所能表现的最大颜色范围^[5]。每一种彩色设备或彩色复制媒质由于其表现颜色的结构、机理不同,因而呈现不同的颜色表现范围,即不同的色域范围。色域大小是决定设备再现色彩能力的基本参数。

目前CIE1931-XYZ的色品图是描述色彩范围常用的方法。通常彩色显示设备的重现色域是其系统三基色在色品图中所构成基色三角形的面积。一般用NTSC(1953年基于CRT的色品特性定义的广播电视标准)标准作为衡量设备色彩还原能力的指标。具体表示为在色品图上显示设备三基色面积 A_{LCD} 与NTSC标准三基色面积 A_{NTSC} 的比值^[6]。假设 (x_R, y_R) , (x_G, y_G) , (x_B, y_B) 是LCD显示器的三基色色品坐标,则由三基色色品坐标所构成三角形的面积为

收稿日期: 2009-06-02, 修订日期: 2009-09-06

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2006AA03A151)资助

作者简介: 李福文,女,1982年生,北京理工大学光电学院博士生 e-mail: wenzi_lee@bit.edu.cn

*通讯联系人 e-mail: jinwq@bit.edu.cn

$$A_{LCD} = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} x_R & y_R & 1 \\ x_G & y_G & 1 \\ x_B & y_B & 1 \end{vmatrix} = \frac{[(x_R - x_B)(y_G - y_B) - (x_G - x_B)(y_R - y_B)]}{2} \quad (1)$$

对应的色域 G_{mut} 表示为

$$G_{mut} = \frac{A_{LCD}}{A_{NTSC}} \times 100\% \quad (2)$$

其中, A_{NTSC} 为 NTSC 标准三基色的面积。

2 TFT-LCD 液晶显示器的色域

2.1 TFTLCD 显示器的彩色控制

薄膜晶体管液晶显示器 (TFT-LCD) 的显示原理是把液晶面板上一个像素点分割成 RGB 三基色, 并对应彩膜的 RGB, 液晶像素单元对来自背光源的三色光量进行平衡、调节作用, 使透过彩膜的光成为所要的彩色^[7]。因此, TFT-LCD 显示器的色域主要由背光源光谱、彩膜光谱透过率和液晶面板特性等因素决定 (这里忽略偏光片的影响)。如图 1 所示, 假设液晶像素处于完全打开状态时为 1, 完全关闭状态时为 0, 对应于 R、G、B 屏幕显示时的状态分别为 R(1, 0, 0), G(0, 1, 0), B(0, 0, 1), 则可采用分光测色仪器或色度计分别测量 R、G、B 屏幕的色品坐标, 进而按式 (1) 和式 (2), 获得 TFT-LCD 系统的色域。

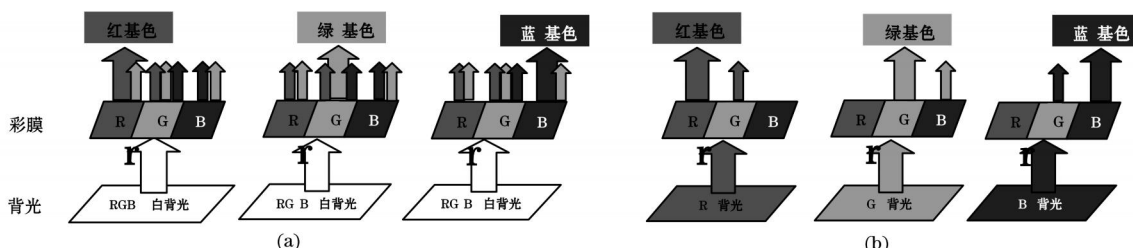


Fig 2 Schematic diagram of comparison between of LED backlight with and without area-controlling

(a): LED backlight without area-controlling; (b): LED backlight with area-controlling

2.2 RGBLED 背光源的三基色色品坐标

确定背光源的色域需要计算色品坐标。CIE 色品系统三刺激值计算公式为^[8]

$$\begin{aligned} X &= k \int \phi(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ Y &= k \int \phi(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \\ Z &= k \int \phi(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \end{aligned} \quad (3)$$

式中, 积分的范围在可见光波段内, $\phi(\lambda)$ 为光源的相对光谱功率分布, $\bar{x}$, $\bar{y}$, $\bar{z}$ 分别是 CIE1931-XYZ 标准观察者的光谱三刺激值; 常数 k 为归一化系数, 对自发光物体是将光源的 Y 值调整到 100。利用物体颜色的三刺激值, 可得物体色品坐标

$$\begin{aligned} x &= \frac{X}{X + Y + Z} \\ y &= \frac{Y}{X + Y + Z} \end{aligned}$$

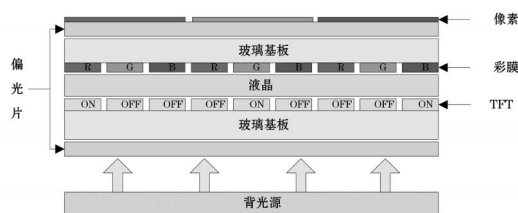


Fig 1 Principle of TFTLCD

目前常规彩色显示器的背光源采用白背光照明, 因此, 采用 RGB-LED 作为背光源计算系统色域时, 首先需要将背光源三基色匹配为等量白光, 继而考虑背光源原始的色域大小, 最后分析背光源的光经过彩膜后 LCD 系统的色域变化情况。

下面分析两种模式的背光源由于工作原理的不同所引起 LCD 系统色域差异的原因。图 2(a) 为无区域控制的白背光 LCD 系统, 当白背光点亮时, 由于光源光谱范围较宽, RGB 各彩膜不仅可通过本身光谱的光, 而且同时通过部分其他颜色的光, 使再现色彩的三基色色彩饱和度下降, 导致色域减小。图 2(b) 采用区域控制的 RGB-LED 背光源, 由于背光可控, 当 LCD 显示某一色光时, 只需点亮对应的 LED 光源, 此时光谱较窄, 通过彩膜后的光受到其他两种颜色彩膜的影响很小, 因此, 区域控制背光源的再现三基色色彩饱和度基本不会受到影响。

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z} \quad (4)$$

图 3 是 RGB-LED 背光源的相对光谱功率分布曲线。表 1 给出了 NTSC 标准和 PAL 标准以及计算得到 RGB-LCD

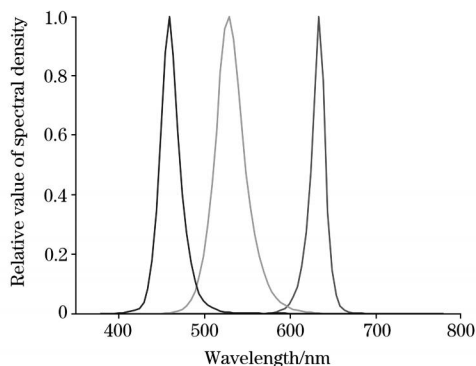


Fig 3 Relative spectral power distribution of RGBLED

三基色的色品坐标。

Table 1 Chromaticity coordinates of tricolor (CIE1931)

(CIE 1931)	NTSC 标准	PAL 标准	RGB-LED 三基色
R	(0.67, 0.33)	(0.64, 0.33)	(0.701 3, 0.298 6)
G	(0.21, 0.71)	(0.29, 0.60)	(0.219 3, 0.715 1)
B	(0.14, 0.08)	(0.15, 0.06)	(0.140 2, 0.046 8)
W	C(0.310 1, 0.316 3)	D ₆₅ (0.312 7, 0.329 1)	-

2.3 RGB-LED 背光源的三基色功率匹配

按照色度学理论, RGB-LED 背光源各有 1 个单位的三基色与 1 个单位的标准白光匹配, 求取该三基色混成白光的功率匹配值。假设 R, G, B 的色品坐标分别为 (x_R, y_R) , (x_G, y_G) 和 (x_B, y_B) , 亮度分别为 Y_R, Y_G 和 Y_B , 则其三刺激表达式为^[8]

$$\begin{aligned} X_i &= \frac{x_i}{y_i} Y_i \\ Y_i &= Y_i \quad (i = R, G, B) \\ Z_i &= \frac{1 - x_i - y_i}{y_i} Y_i \end{aligned} \quad (5)$$

由格拉斯曼定律, 利用加法混色对三刺激值做混色, 所得的新色刺激[W]的三刺激值为

$$\begin{aligned} X_W &= X_R + X_G + X_B \\ Y_W &= Y_R + Y_G + Y_B \\ Z_W &= Z_R + Z_G + Z_B \end{aligned} \quad (6)$$

将式(6)代入式(5), 可得

$$\begin{bmatrix} X_W \\ Y_W \\ Z_W \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{x_R}{y_R} & \frac{x_G}{y_G} & \frac{x_B}{y_B} \\ 1 & 1 & 1 \\ \frac{1 - x_R - y_R}{y_R} & \frac{1 - x_G - y_G}{y_G} & \frac{1 - x_B - y_B}{y_B} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_R \\ Y_G \\ Y_B \end{bmatrix} \quad (7)$$

当 RGB-LED 三基色混为表 1 中 PAL 制 D₆₅ 标准白光时, 颜色方程式为

$$[C] = 0.238 1[R] + 0.703 0[G] + 0.058 9[B] \quad (8)$$

当 RGB-LED 三基色混为表 1 中 NTSC 制 C 标准白光时的颜色方程式则为

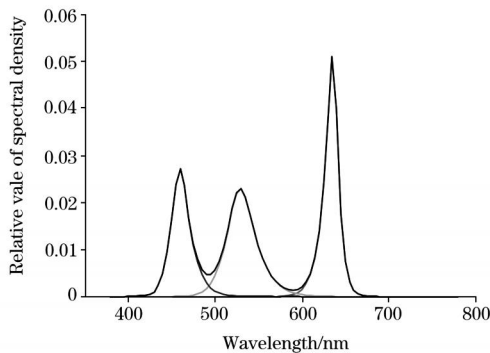


Fig 4 Spectral power distribution of white backlight

$$[C] = 0.245 3[R] + 0.690 3[G] + 0.064 4[B] \quad (9)$$

图 4 为 RGB-LED 采用 PAL 标准混成的白光背光相对光谱功率分布。

2.4 液晶光漏现象及彩膜光谱特性对色品坐标的影响

TFT-LCD 的液晶(LC)单元通过改变透过率来控制像素的亮度。由于液晶等的特性, 在显示黑色时, 其并不能理想地阻隔光的透过(光漏现象), 这种光漏现象将影响 LCD 显示图像的对比度, 通常定义暗室中 LCD 屏幕最大透过亮度与最小透过亮度的比值为 LCD 的对比度^[9]。对于同样的最大透过亮度, 对比度可反应出光漏的大小, 因此可用对比度来分析光漏现象对系统再现色域的影响。

彩膜的光谱透过率及其与 RGB-LED 相对光谱功率分布的关系如图 5 所示, CF_R, CF_G, CF_B 分别表示为 R, G, B 彩膜的透过率曲线。背光通过彩膜后的三刺激值为

$$\begin{aligned} X_i &= k \sum_j \int \tau_{CFj}(\lambda) \phi(\lambda) x_i \lambda d\lambda \\ Y_i &= k \sum_j \int \tau_{CFj}(\lambda) \phi(\lambda) y_i \lambda d\lambda \\ Z_i &= k \sum_j \int \tau_{CFj}(\lambda) \phi(\lambda) z_i \lambda d\lambda \end{aligned} \quad c_{ij} = \begin{cases} c_j & j = i \\ 1 & j \neq i \end{cases} \quad (10)$$

$i, j = R, G, B$

其中, 求和表示背光分别通过 R, G, B 三色彩膜的三刺激值线性叠加, $c_j (j = R, G, B)$ 为考虑光漏现象的对比度值, $\tau_{CFj}(\lambda) (j = R, G, B)$ 为 RGB 彩膜的光谱透过率函数, 采用无区域控制 LED 背光时, $\phi(\lambda)$ 为图 4 匹配的白光背光源光谱功率分布函数, 当采用区域控制背光源时, $\phi(\lambda)$ 为 R, G, B LED 满足白平衡条件下的各自的光谱功率分布函数。其他参量含义同式(3)。

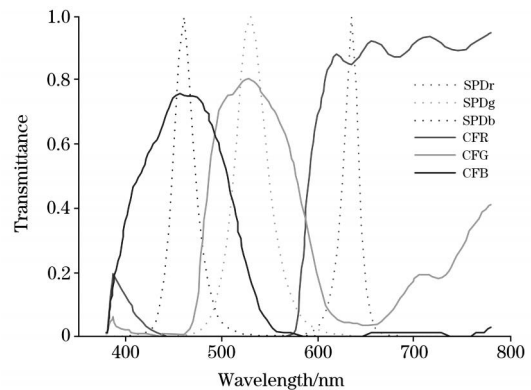


Fig 5 Relative spectral distribution of RGB-LED and transmittance of color filters

3 TFT-LCD 系统的色域结果分析

由于 CIE1931 色品图不是均匀色空间, 其三基色面积色域表示法与人眼视觉对色域的感知有一定差异。Seyno^[10], Poynton^[11] 推荐采用 CIE1976 $L u' v'$ 均匀空间对色域进行量化。也采用 CIE1976 $L u' v'$ 均匀空间对色域进行了计算。表 2 给出了在 CIE1931 和 CIE1976 标准下 RGB-LED 背光源, 无区域控制 LED 背光源 + 彩膜以及区域控制 LED 背光源 + 彩

膜的色域比较(后两者取对比度为 1 000 : 1)。可以看出: 对于本文所取 RGB-LED 和彩膜光谱特性, CIE1931 标准下 RGB-LED 背光源色域为 112.23%, 区域控制 LED 背光源系统色域为最大 117.70%, 无区域控制 LED 背光 LCD 系统色域最小, 为 90.15%。这表明区域控制技术改善了由于彩膜而引起的系统色域减小的情况, 即降低了系统色域对彩膜性能的要求。CIE1976 的色域值普遍大于 CIE1931 的表示方式, 区域控制背光源的 LCD 色域提高到 NTSC 的约 142%, 与测试评价结果^[3]基本一致, 这表明在均匀空间中描述色域更为合理。

Table 2 Comparison of color gamut

	CIE1931	CIE1976
RGB-LED 背光源色域	112.23 %	136.12 %
无区域控制背光源 + 彩膜的色域	90.15 %	81.41 %
区域控制背光源 + 彩膜的色域	117.70 %	141.99 %

图 6 为无区域控制背光源及采用区域控制背光源系统色域与对比度的关系曲线(上面的直线为有区域控制模式)。可以看出, 无区域控制背光源系统的色域随对比度的不同变化较大, 而区域控制背光源系统的色域几乎不受对比度变化的影响。因此, 区域控制技术降低了系统色域对液晶面板性能的要求。这里假设 R, G, B 三基色透过率变化趋势相同, 其不一致性的研究详见文献[12]中的论述。

4 结束语

区域控制背光源是当前国际上 TFT-LCD 显示器的重要

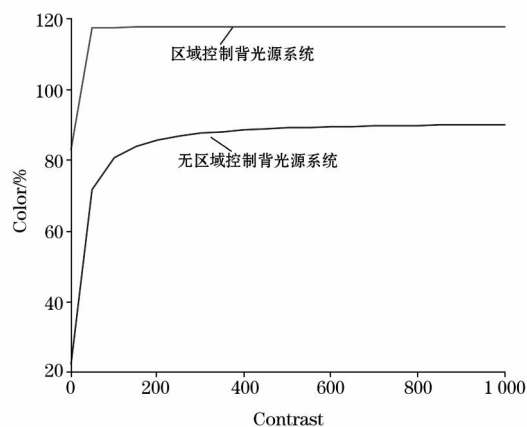


Fig 6 Dependence of contrast and color gamut

技术发展方向之一, 对于提高 TFT-LCD 显示器的显示色域和对比度具有实际意义, 且具有节能的效果。本文采用色度学方法, 通过对系统的光谱分析计算, 研究了 RGB-LCD 背光源、彩膜以及 LCD 面板性能对 TFT-LCD 显示器色域的影响, 比较了 LED 背光源有无区域控制的差异, 理论分析计算的结果与测试结果基本一致, 表明论文方法的有效性。

需要指出的是, 本文方法具有普适性, 虽然有关结果是针对文中特定的光谱特性给出的, 但该方法同样也适用于其他光谱特性的分析, 即论文给出了一种基于区域控制背光源的 TFT-LCD 显示器的设计方法, 对于研制新型高性能 TFT-LCD 显示器具有指导意义。

致谢: 北京理工大学赵达尊教授对本研究给予了有益的指导, 在此表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] Helge Seetzen, Lorne A Whitehead. Proceedings of the Society for Information Display International Symposium, 2003, 34(1): 1450.
- [2] Helge Seetzen, Wolfgang Heidrich, Wolfgang Stuerzlinger, et al. ACM Transactions on Graphics, 2004, 23(3): 760.
- [3] Yeo Dong-Min, Kwon Yong-hoon, Kang Eui-Jeong, et al. Proceedings of the Society for Information Display International Symposium, 2008, 39(1): 986.
- [4] PU Da-zhi, HU Wei-sheng, TENG Xiu-jin, et al (朴大植, 胡维生, 滕秀金, 等). GB/T 5698—2001. Beijing: Standards Press of China (北京: 中国标准出版社), 2001. 1.
- [5] HU Wei-jie, TANG Shun-qing, ZHU Zheng-fang (胡威捷, 汤顺青, 朱正芳). Modern Color Science and Application (现代颜色技术原理及应用). Beijing: Beijing Institute of Technology Press (北京: 北京理工大学出版社), 2007. 173.
- [6] Wen Senfar. Journal of Display Technology, 2008, 4(1): 18.
- [7] TONG Lin-su, TU Yan, Daniel den Engelsen (童林夙, 屠彦, Daniel den Engelsen). Display Technology in Digital Television (数字电视显示技术). Beijing: Publishing House of Electronics Industry (北京: 电子工业出版社), 2007. 219.
- [8] JIN Wei-qi, HU Wei-jie (金伟其, 胡威捷). Radiometry Photometry Colorimetry and Measurement (辐射度光度与色度及其测量). Beijing: Beijing Institute of Technology Press (北京: 北京理工大学出版社), 2006. 112.
- [9] Chen Hanfeng, Sung Junho, Ha Taehyeun, et al. Proceedings of the Society for Information Display International Symposium, 2007, 38(1): 1339.
- [10] Sluyterman Seyno. Information Display, 2006, 22(5): 84.
- [11] Poynton Charles. Information Display, 2007, 23(7): 10.
- [12] HUANG Chong, JIANG Yan-sen, OU YANG Yan-dong, et al (黄翀, 姜言森, 欧阳艳东, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis (光谱学与光谱分析), 2007, 27(12): 2494.

Analysis of Color Gamut of LCD System Based on LED Backlight with Area-Controlling Technique

LI Fu-wen¹, JIN Wei-qi^{1*}, SHAO Xi-bin², ZHANG Li-lei², WAN Li-fang²

1. School of Optoelectronics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China

2. Central Research Institute, BOE Technology Group Co. Ltd., Beijing 100016, China

Abstract Color gamut as a significant performance index for display system describes the color reproduction ability IN real scenes. liquid crystal display (LCD) is the most popular technology in flat panel display. However, conventional cold cathode fluorescent lamp (CCFL) backlight of LCD can not behave high color gamut compared with cathode ray tube (CRT). The common used method of color gamut measuring for LCD system is introduced at the beginning. According to the inner structure and display principle of LCD system, there are three major factors deciding LCD's color gamut: spectral properties of backlight, transmittance properties of color filters and performance of liquid crystal panel. Instead of conventional backlight CCFL, RGB-LED backlight is used for improving color reproduction of LCD display system. Due to the imperfect match between RGB-LED's spectra and color filter's transmittance, the color filter would reduce the color gamut of LCD system more or less. Therefore, LCD system based on LED backlight with area-control technique is introduced which modifies backlight control signal according to the input signal. After analyzing and calculating the spectra of LED backlight which passes through the color filters using method of colorimetry, the area sizes of color gamut triangles of RGB-LED backlight with area-control and RGB-LED backlight without area-control LCD systems are compared and the relationship between color gamut and varying contrast of liquid crystal panel is analyzed. It is indicated that LED backlight with area-control technique can avoid color saturation dropping and have little effects on the contrast variation of liquid crystal panel. In other words, LED backlight with area-control technique relaxes the requirements of both color filter performance and liquid crystal panel. Thus, it is of importance to improve the color gamut of the current LCD system with area-control LED backlight.

Keywords Liquid crystal display; Color gamut; Spectral analysis; Area-control; LED backlight

(Received Jun. 2, 2009; accepted Sep. 6, 2009)

* Corresponding author