

文章编号:1007-2780(2014)06-0916-06

彩色液晶显示器件色差补偿优化

占红明^{1,2,3}, 徐 征^{1,3,*}, 董 学², 陈 明²,金 雄², 布占场², 邵喜斌², 李成圭²

(1. 北京交通大学 光电子技术研究所, 北京 100044;

2. 京东方科技集团股份有限公司 产品开发中心, 北京 100176;

3. 北京交通大学 发光与光信息技术教育部重点实验室, 北京 100044)

摘要:为了改善彩色液晶显示器件的色差,提升画面品质,针对(128,192,192)灰阶图形下色差的问题,对色差产生的机理进行了分析。模拟了 RGB 三色像素透过率对该图形下色差的影响。通过分别调整 RGB 彩膜膜厚,不仅相对调整了三色像素下的液晶盒层厚,而且还调整了三色像素的透过率,改善了 RGB 的 Gamma 曲线,对色差进行了补偿优化。实验结果表明,增加 G 像素和减小 B 像素的液晶盒层厚,对色差有明显补偿改善效果;同时,当 RGB 膜厚保持不变时,色差与液晶层厚呈正比关系,液晶层厚每减小 1% 时,色差约降低 0.2。当 RGB 三色液晶盒层厚从(3.47,3.38,3.4) μm 分别调整到(3.5,3.45,3.36) μm 和(3.5,3.44,3.28) μm 时,(128,192,192)灰阶图形下样品色差平均值从 13.8 分别降低到 12.8 和 12。通过分别调整 RGB 彩膜膜厚,相对调整了三色像素下的液晶层盒厚和液晶量调节,可以一定程度优化补偿色差。

关 键 词: 色差;液晶显示;层厚;灰阶

中图分类号: TN27; O432.3 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20142906.0916

Compensation and optimization of chromatic aberration for color LCD device

ZHAN Hong-ming^{1,2,3}, XU Zheng^{1,3,*}, DONG Xue², CHEN Ming²,KIM Woong², BU Zhan-chang², SHAO Xi-bin², LEE Seong-kyu²(1. *Institute of Optoelectronics Technology, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;*2. *BOE Technology Group Co. Ltd., Beijing 100176, China;*3. *Key Laboratory of Luminescence and Optical Information, Beijing Jiaotong University, Ministry of Education, Beijing 100044, China)*

Abstract: In order to improve the chromatic aberration in color LCD device and enhance the display quality, the effect of RGB transmittance on chromatic aberration was simulated for a particular pattern

收稿日期: 2014-06-17; **修订日期:** 2014-06-24.

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(No. 2010CB327704); 国家自然科学基金(No. 51272022); 教育部新世纪优秀人才支持计划(No. NCET-10-0220); 中央高校基本科研业务费专项资金(No. 2012JBZ001)

* 通信联系人, E-mail: zhengxu@bjtu.edu.cn

of (128,192,192) gray scale. By respectively adjusting the thickness of RGB film, not only the relative cell gap of RGB was tuned, but also the transmittance of RGB was adjusted to improve RGB gamma curves, and chromatic aberration was compensated and optimized. Experimental results show that the increase of G and the decrease of B in cell gap, can obviously improve chromatic aberration. Meanwhile, when the thickness of RGB keeps no change, chromatic aberration is proportional to cell gap of liquid crystal. Cell gap reduces by 1%, chromatic aberration correspondently decreases about 0.2. When the cell gap of RGB changed from (3.47,3.38,3.4) μm to (3.5,3.45,3.36) μm and (3.5,3.44,3.28) μm , the average chromatic aberration of sample was reduced from 13.8 to 12.8 and 12 in the pattern, respectively. Thus, chromatic aberration can be compensated by separately adjusting the relative thickness and cell gap of RGB.

Key words: chromatic aberration; liquid crystal display; cell gap; gray scale

1 引 言

彩色液晶显示(LCD)技术由于其具有轻薄化、低功耗、无辐射、低成本等诸多优点已广泛应用在各种显示类产品中^[1-3]。LCD器件中彩色的实现主要是通过彩膜基板上RGB三色或多基色颜料,利用阵列基板上薄膜晶体管(TFT)来控制液晶对光的调制,从而调节RGB各基色的比重,在空间混色后实现不同的颜色^[4]。

为了便于定量地评价显示器件对颜色的再现性能力,人们提出了诸如色度、亮度、色域及色差等概念,并进行了相关的研究^[5-7]。针对色差的评价,也有如CIE Lab、CEI LCH、CMC和 ΔE_{ab}^* 等不同的表征和评价方法^[8-9],其中 ΔE_{ab}^* 容差公式以一个数值代表总色差,是目前较常采用的容差公式。

目前,在改善LCD器件的色差方面,主要采用的方法有背光调节、彩膜颜料调节或电路调节等^[10-11],对LCD器件的整体显示效果影响较大。本文利用液晶层厚与RGB三色透过率的关系,通过颜料厚度的调节,达到非一致的RGB三色液晶层厚,从而实现对RGB三色Gamma的分别调节,优化特定图形下的色差。

2 色差定义与现象

2.1 色差的定义

CIE1976 $L^*a^*b^*$ 空间由CIEXYZ系统通过数学方法转换得到,转换后的空间用笛卡儿直角坐标系来表示,形成了对立色坐标表述的心理颜色空间, L^* 来表示心理明度, a^* 、 b^* 为心理色

度。在这一坐标系统中, $+a^*$ 表示红色、 $-a^*$ 表示绿色、 $+b^*$ 表示黄色、 $-b^*$ 表示蓝色,颜色的明度由 L^* 的百分数来表示。

色差是指用数值的方法表示两种颜色给人色彩感觉上的差别。若两个色样样品都按 L^* 、 a^* 、 b^* 标定颜色,则两者之间的总色差 ΔE_{ab}^* 以及各项单项色差可用下列公式计算^[8]:

$$\begin{aligned}\Delta L^* &= L_{\text{sample}}^* - L_{\text{standard}}^* \\ \Delta a^* &= a_{\text{sample}}^* - a_{\text{standard}}^* \\ \Delta b^* &= b_{\text{sample}}^* - b_{\text{standard}}^*\end{aligned}$$

$$\Delta E_{ab}^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

ΔE_{ab}^* 值越小代表色差越少,相反地 ΔE_{ab}^* 值越大代表色差越大。其中,标准色差主要考察的图形有7个,其色度规格如表1所示。

表 1 CIE 1976 标准色差图形

Tab.1 Standard chromatic aberration pattern in CIE 1976				
Test Pattern	Gray scale (R,G,B)	L^*	a^*	b^*
1	(192,96,96)	52.31	38.40	17.97
2	(192,192,96)	75.92	-13.25	47.87
3	(128,192,128)	72.13	-33.30	25.96
4	(128,192,192)	73.61	-20.28	-6.5
5	(128,128,192)	55.9	15.13	-33.4
6	(192,128,192)	62.04	35.07	-23.45
7	(255,255,255)	100	0.00	0.00

一般对色差 ΔE_{ab}^* 的要求是,以上7个图形中,平均色差和最大色差分别不超过10和15。

2.2 色差现象及原因

如图 1 所示为普通液晶显示结构 Gamma 曲线。从图中可以看出,白光的 Gamma 曲线与标准的 2.2 可以较好重合,但 R、G、B 三色的 Gamma 曲线却存在一定的偏移,尤其是 R 和 B。从而导致对于青色画面(128,192,192),其色度坐标和色差如下表 2 所示。

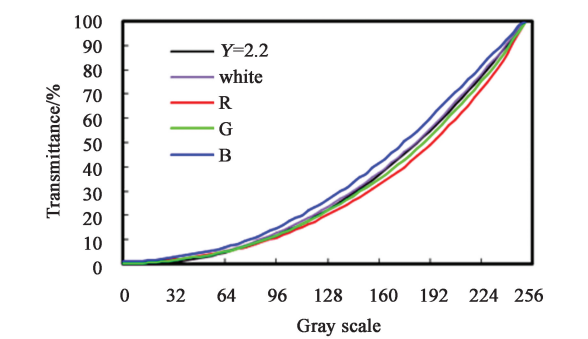


图 1 普通液晶显示结构 RGB Gamma 曲线
Fig. 1 RGB Gamma curves in normal LCD

表 2 (128,192,192)灰阶图形色差现象

Tab. 2 Chromatic aberration at (128,192,192) pattern				
Item	L^*	a^*	b^*	ΔE^*
Standard	73.61	-20.28	-6.5	—
Sample	74.84	-19.9	-26.9	14.1

可以看出,由于 B 的 Gamma 曲线偏 2.2 上方,其相对强度偏大,青色画面的坐标从标准的 A(-20.28,-6.5)偏移到了 B(-19.9,-26.9),发生了 Blue shift,如图 2 所示样品在 CIE1976 $L^*a^*b^*$ 空间的色度情况,此时色差达 14.1,色差 Margin 较小。

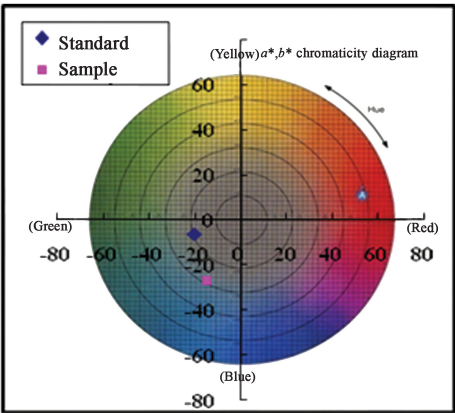


图 2 CIE1976 空间样品色差
Fig. 2 Chromatic aberration at CIE1976

3 模拟与实验

液晶显示器件中不同颜色的获得通常是通过液晶对 R、G、B 三色像素强度比例的调制来实现^[4]。为了改善(128,192,192)图形下 ΔE^* ,我们对该图形下 ΔE^* 与三色像素透过率的关系进行了模拟,如图 3 所示。

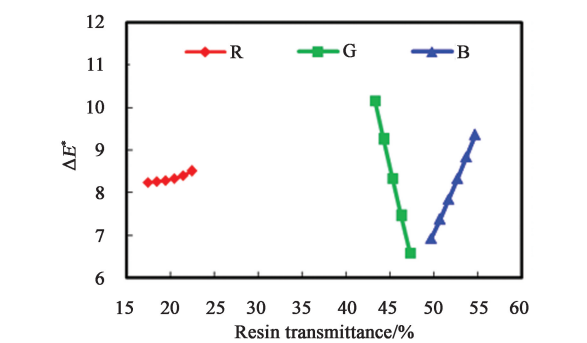


图 3 (128,192,192)图形下 ΔE^* 与三色像素透过率的关系模拟
Fig. 3 Relation between ΔE^* and transmittance of RGB at (128,192,192) pattern

从图中可以看出,G 和 B 透过率的变化对(128,192,192)图形下色差 ΔE^* 影响较大,其中 G 透过率与该图形下样品色差成反比,相反,B 透过率则与之成正比。因此,(128,192,192)图形下色差的优化可以通过增大 G 的透过率或减小 B 的透过率来实现。

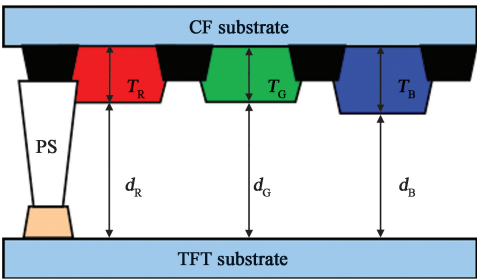


图 4 彩色液晶显示结构图
Fig. 4 Schematic structure of color LCD

如图 4 所示为传统彩色液晶显示结构图^[4]。阵列基板(TFT substrate)和彩膜基板(CF substrate)之间通过柱状隔垫物支撑(PS)维持一定的液晶盒厚,中间充满液晶,其中 CF 基板上通过 R、G、B 三色像素实现彩色,两相邻像素间通过黑

矩阵(BM)分割防止混色。设 R、G、B 三色颜料厚度分别为 T_R 、 T_G 、 T_B ,三色像素对应的液晶层厚(Cell gap)分别为 d_R 、 d_G 、 d_B 。则通常情况下

$$T_R + d_R = T_G + d_G = T_B + d_B.$$

由于在一定的相位延迟区间内液晶的光效与其层厚有正比关系^[2],为了增加 G 像素和降低 B 像素在三色像素间的相对强度,进而调节各单元 Gamma,使 RGB Gamma 曲线向白光 Gamma 靠近。我们设定

$$T_R \approx T_G < T_B$$

则
$$d_R \approx d_G > d_B$$

如表 3 所示,我们采用 LCD master 软件对三像素液晶层厚与 ΔE^* 的关系进行了优化模拟。从模拟结果可以看到,当保持 R 像素的层厚基本不变,G 像素的层厚从 $3.38\text{ }\mu\text{m}$ 增加到 $3.5\text{ }\mu\text{m}$,B 像素的层厚从 $3.4\text{ }\mu\text{m}$ 分别减小到 $3.35\text{ }\mu\text{m}$ 和 $3.25\text{ }\mu\text{m}$ 时,预测的 ΔE^* 可以从 14.1 降低到 12.5 和 11.3。

表 3 优化结构中 ΔE^* 模拟

Tab.3 ΔE^* simulation for optimized structure

Sample	Cell gap / μm			ΔE^*	
	R	G	B	Simulation	Forecast
Normal	3.47	3.38	3.4	16.4	14.1(Real)
Optimized 1	3.5	3.5	3.35	14.5	12.5
Optimized 2	3.5	3.5	3.25	13.1	11.3

4 结果与讨论

如表 4 和图 5 所示为通过 R、G、B 三色像素彩膜膜厚调节,实验得到的三色液晶层厚和色差 ΔE^* 数据。相比于普通设计,优化的三色液晶层厚设计,R、G、B 三色像素液晶层厚从 $(3.47, 3.38, 3.4)\text{ }\mu\text{m}$ 分别调整到 $(3.5, 3.45, 3.36)\text{ }\mu\text{m}$ 和 $(3.5, 3.44, 3.28)\text{ }\mu\text{m}$ 时, $(128, 192, 192)$ 图形下色差 ΔE^* 呈下降的趋势,其样品色差平均值从 13.8 分别降低到 12.8 和 12,优化的样品 1 与模拟结果基本符合,而样品 2 比模拟结果稍偏大,其原因是样品 2 的实际 G 和 B 的液晶层厚分别较设计值偏小和偏大。

表 4 不同彩膜膜厚在样品 (128, 192, 192) 图形下 ΔE^* 实验结果

Tab.4 ΔE^* of different samples at (128,192,192) pattern

Sample	Item/ μm	R	G	B	ΔE^*
Normal	Film thickness	2.15	2.28	2.22	13.8
	Cell gap	3.47	3.38	3.4	
Optimized 1	Film thickness	1.94	1.99	2.08	12.8
	Cell gap	3.5	3.45	3.36	
Optimized 2	Film thickness	1.95	2.01	2.17	12.0
	Cell gap	3.5	3.44	3.28	

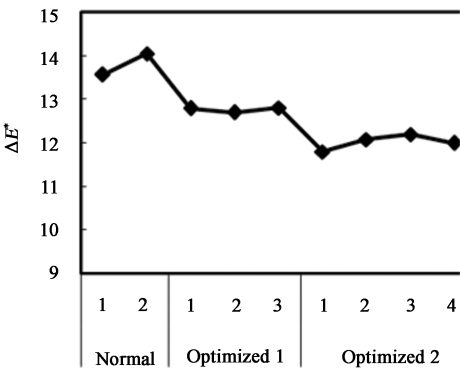
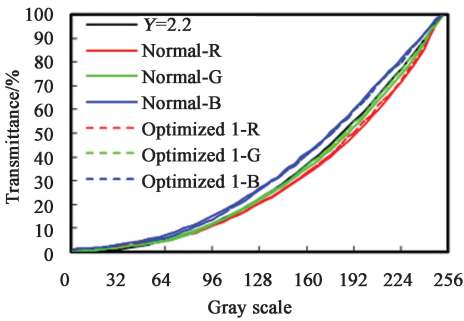


图 5 不同样品(128,192,192)图形下 ΔE^* 实验结果
Fig.5 ΔE^* of different samples at (128,192,192) pattern

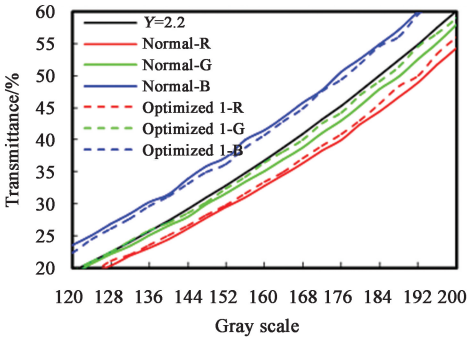
为了分析色差改善原因,我们对比了普通和优化结构下 RGB 的 Gamma 曲线及其放大图,如图 6 所示。从图中可以看到,由于 R、G、B 三色液晶层厚的优化,进而调节了各单元的液晶光效,实现了调整 R、G、B 三色强度的比重,即在 R、G、B 三色中,G 的强度增强,B 的强度相对减弱。相对于普通 Gamma,优化的 RGB Gamma 曲线向标准 Gamma 2.2 靠近,从而改善了 $(128, 192, 192)$ 图形下色差。

实际设计过程中,考虑到 R、G、B 三色像素彩膜膜厚差异(像素段差)过大可能带来的工艺不稳定性,我们进一步研究了当彩膜膜厚不变的情况下,通过液晶量的调节,来同时改变三色像素的液晶层厚对色差的影响。如图 7 所示为实验的 $(128, 192, 192)$ 图形下色差与液晶量的关系。从



(a)RGB Gamma 曲线对比图

(a)Comparison of RGB Gamma curves



(b)RGB Gamma 曲线放大图

(b)Comparison of RGB enlarged view

图 6 RGB Gamma 曲线

Fig. 6 Comparison of RGB

像素透过率,相应低的 RGB 透过率差异,即小的 RGB Gamma 差异。因此,通过降低液晶层厚也可以一定程度上改善色差。

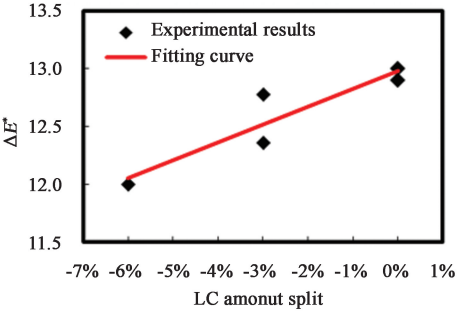


图 7 (128,192,192)图形下不同液晶量 ΔE^* 实验结果
Fig. 7 ΔE^* of different LC amount at (128,192,192) pattern

5 结 论

针对特定图形下色差的问题,对色差产生机理进行了分析,模拟分析了 RGB 透过率对色差的影响,通过调整 RGB 三色膜厚相对调整了液晶盒层厚,进而调整三色透过率比重,改善了 RGB Gamma 曲线特性,对色差进行了优化补偿。模拟和实验结果表明,增加 G 的盒厚和减小 B 的盒厚,对色差有改善效果,(128,192,192)图形下样品色差平均值从 13.8 分别降低到 12.8 和 12。同时,色差与液晶量(液晶盒层厚)呈正比关系,液晶层盒厚每减小 1%时,色差约有 0.2 的降低。

参 考 文 献:

[1] Ukai Y. TFT-LCDs as the future leading role in FPD [C]. *SID 2013 Digest*,2013: 28-31.

[2] Zhan H M, Xu Z, Wang Y C, *et al*. Fast response fringe-field switching mode liquid crystal development for shutter glass 3D [J]. *Journal of the Society for Information Display*,2013, 21(1): 137-141.

[3] Zhan H M, Xu Z, Wang Y P, *et al*. Low-voltage, high transmittance fringe-field switching mode liquid crystal for monitor display [J]. *Liquid Crystals*,2014, 41(6): 755-760.

[4] 堀浩雄,铃木幸治. 彩色液晶显示[M]. 北京:科学出版社,2003.

Hori H, Suzuki K. *Color Ekisho Display* [M]. Beijing: Science Press, 2003. (in Chinese)

[5] Robert W G H. Imaging performance of displays: past, present, and future [J]. *Journal of the Society for Information Display*,2005,13(12): 983-991.

[6] Tsai C C, Lai C C, Hsieh S M. Wide color-gamut improvement of LCM using multi-phosphor white LED and modified rich color method [C]. *IEEE Transactions on 2009 Consumer Electronics*,2009,55(3):1566-1571.

[7] Huang M, Liu H X, Xiao Y Y, *et al*. Research on digital images' color-difference by altering lightness and chroma: analysis and evaluation of color-difference formulae [C]. 2010 *3rd International Congress on Image and Signal*

Processing (CISP), 2010; 2347-2350.

[8] Gunter W, Stiles W S. *Color Science Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae* [M]. New York: Wiley-Interscience Publication, 1982.

[9] Mandic L, Grgic S, Grgic M. Comparison of color difference equations, multimedia signal processing and communications [C]. *48th International Symposium ELMAR-2006 focused on*, 2006;107-110.

[10] 陈旭,刘伟奇,魏忠伦,等.激光显示中匀色坐标系的建立与色差分析[J]. *液晶与显示*, 2008, 23(4): 427-431.
Chen X, Liu W Q, Wei Z L, *et al.* Establishment and analysis of uniform color coordinate system in laser TV [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2008, 23(4): 427-431. (in Chinese)

[11] 赵梓权,王瑞光,郑喜凤,等.基于视觉感受的LED显示屏系统精度分析[J]. *液晶与显示*, 2012, 27(3), 324-331.
Zhao Z Q, Wang R G, Zheng X F, *et al.* Systemic accuracy analysis of led displaysbased on visual perception [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2012, 27(3): 324-331. (in Chinese)

作者简介:占红明(1980—),男,湖北孝感人,博士研究生,主要从事液晶显示方面的研究和产品开发工作。E-mail:seaboat_zhan@163.com

徐征(1959—),男,北京人,教授,博士生导师,主要从事发光与显示、太阳能电池等方面的研究。E-mail:zhengxu@bjtu.edu.cn