

文章编号:1007-2780(2014)03-0377-06

基于 FPGA 实现液晶显示器白平衡的调整方法

赵小珍*, 刘 波, 章小兵, 黄荣园, 刘儒锋, 祁凌云

(1. 中航华东光电有限公司, 安徽 芜湖 241002; 2. 特种显示技术国家工程实验室, 安徽 芜湖 241002;
3. 安徽省现代显示技术重点实验室, 安徽 芜湖 241002)

摘要:为了解决液晶显示器在不同亮度下产生色温偏移的现象,详细分析了显示器白平衡调整的各零部件。从各个零部件可实现程度以及难易度出发,根据白平衡调整原理,得出采用一种基于 FPGA 调节 OGB 背光源的方法,来实现白平衡动态调整。以颜色传感器为基础,以 FPGA 为控制器,进行了总体方案设计和软件设计。对实验数据进行了曲线拟合和分析。做了高低温、振动、湿热、霉菌等实验后,通过测试数据对比分析,液晶屏白平衡表现效果较好。显示器白平衡调整后,扩大了颜色表现范围,达到液晶屏色温稳定,图像显示逼真的效果。色差范围控制在 ± 0.005 之内,误差在 0.63% 左右。完全能够满足机载显示领域颜色稳定、色温的要求。

关键词:FPGA; LCD; 色温; 白平衡; 背光源

中图分类号:TN29 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20142903.0377

Regulated method of realizing white balance for LCD based on FPGA

ZHAO Xiao-zhen*, LIU Bo, ZHANG Xiao-bing, HUANG Rong-yuan, LIU Ru-feng, QI Ling-yun

(1. AVIC Huadong Photoelectric Co., Ltd, Wuhu 241002, China;
2. National Engineering Lab of Special Display Technology, Wuhu 241002, China;
3. Key Laboratory of Modern Display Technology, Wuhu 241002, China)

Abstract: In order to solve the phenomenon of color temperature excursion for LCD at different luminance, the paper analyzes each part of adjusting white balance. First, according to the theory of adjusting white balance, the paper adopts the method of adjusting OGB backlight to realize white balance for LCD from extent of difficulty and accomplishment on each part. Then on the base of color sensor and FPGA as controller, software design and whole scheme design are presented. Finally, curve fitting and analysis are discussed. By analyzing and comparing test results, the effect of white balance will be perfect after experimentation of high and low temperature, vibration, wetness and mildew. After adjusting white balance, the range of color exhibition is enlarged and the color temperature can remain steady so that LCD can show image vividly. Besides, the range of color temperature is within ± 0.005 , the error is about 0.63%. LCD can meet the demand of color stability and color temperature on avionics display.

Key words: FPGA; liquid crystal display; color temperature; white balance; backlight

收稿日期:2013-09-02; 修订日期:2013-09-25.

* 通信联系人, E-mail: icerain0938@126.com

1 引言

近几年,航空、航天尤其对 LCD 显示器迅猛增长,特别对 LCD 显示器的显示效果、色温提出了更高要求。在图像图形学领域,经常会看到 5 500、6 500、9 300 K 这样不同的显示规格数值,这些数值分别代表了不同的白平衡标准模式。人眼在长期生活中,默认的标准颜色都是当地白昼良好自然照明条件下,物体呈现出来的色彩,例如对于热带的人,平均日照天顶角较小(大部分时间如同正午一样接近垂直入射),白昼正常色温较高,能达到 10 000 K 以上,对于他们而言,略带冷光成分的蓝白色是更容易被接受的“白”色标准。而对于高纬度地区例如欧洲,日光平均色温只有 5 000 ~ 6 000 K,因此,他们接受的白色色调略呈暖色(黄白)。对于处于中低纬度地区的东亚人,一般认为与 D65 光源近似的 6 500 K 左右的色温是比较纯正的白色,对应的色坐标为 $x=0.312\ 7$, $y=0.329\ 1$ (CIE1931 $x-y$ 颜色空间表示)或 $\mu=0.197\ 8$, $\nu=0.468\ 4$ (CIE1976 $\mu-\nu$ 颜色空间表示)。

光源色温不同,颜色就不同^[1]。调整白平衡的本质就是调整色温。由于色温 6 500 K 的显示色彩对于飞行员和作战环境具有最良好的色中性,其与各种基准彩色都能保持最大的颜色差异,不致于引起前景和背景色颜色混淆影响辨识力的问题。因此,控制 LCD 显示器色温为 6 500 K,成为今后航空、航天 LCD 显示器的一个新特点。

在显示领域,白平衡的好坏主要由液晶屏以及驱动控制系统所决定。因此,大多数文献资料或专利,都会介绍通过信号处理算法,比如灰度世界算法、完美反射算法、伽马校正技术、运动插值帧频变换技术以及插黑/灰技术等来调节白平衡。针对现有 TFT-LCD 液晶显示器白平衡调整方法,提出一种基于 FPGA 调节 OGB 背光源的方法,来实现动态白平衡调整,达到液晶屏色温稳定,图像显示逼真的效果。

2 现有白平衡方法分析

2.1 白平衡调整原理

白平衡调整的基础是三基色原理,三基色原理是对色彩进行分解、混合的重要原理^[2]。从三

基色原理可知:任何色彩都可以用不同含量的红、绿、蓝三基色来表示,可以把液晶显示器任何像素所发出的色光 Y 表示为:

$$Y = 0.029R + 0.587G + 0.114B. \quad (1)$$

该方程是液晶显示器进行白平衡调节的依据。在白平衡的调整中,调整液晶显示器的亮度,即红绿蓝(RGB)三基色,使液晶显示器达到某一要求的色温值,并且符合液晶显示器的其他参数规范要求。

根据 RGB 三基色原理,任何一种色光 F 都可用 R 、 G 、 B 三基色按照不同的比例相加混合叠加而成,当三基色分量都为 0 时,为黑色光;当三基色分量都为 C (最大值)时,为白色光。如式(2)所示:

$$F = K_r \cdot [R] + K_g \cdot [G] + K_b \cdot [B]. \quad (2)$$

由式(2)可以看出,改变三色系数 K_r 、 K_g 、 K_b 中的任何一个,都会改变 F 的值,即 F 的颜色发生了改变。

根据以上原理,调整白平衡,就是改变液晶像素分量特性或改变背光源光谱特性。

2.2 白平衡调整方法

根据以上白平衡原理分析,白平衡调整就是调整液晶像素分量特性或调整背光源光谱特性。

对于 LCD 显示器,与液晶像素有关的因素主要有液晶屏(Panel)、TCON 板以及视频处理系统(VPS);与背光源光谱有关的因素主要有光学系统和背光源^[3]。以下,将从这两方面进行详细分析。

2.2.1 液晶像素白平衡调整方法

从控制液晶像素方面出发考虑,对于液晶屏,当生产商在设计 Panel 时,从器件特性、液晶、工艺设计、机构设计等方面已经确定,产品出厂后,这些参数基本不能更改。所以,对于 Panel 处理,不能进行白平衡调整;对于 TCON 板,主要是接收视频处理系统(VPS)送过来的 LVDS 信号,最后转换为 RSDS 格式、PPDS 格式、mini-LVDS 等格式信号驱动液晶屏周边 source driver、gate driver 以及产生灰阶电压(Gamma 电压)等。灰阶电压补偿了光强度或亮度再生的非线性,使 LCD 显示器尽可能能够真实地反映原物体或原图像视觉信息的重要过程,从而克服颜色失真,增强白平衡效果。然而即使采取了这些措施,依然不能消除在不同灰阶画面下色温的漂移。原因在于液晶像素对不同波长的光透过特性不同,红绿

蓝三色的 Gamma 特性不一样。依照单一的灰度 Gamma 曲线,不可能实现对 RGB 三色的最佳调整,需要对红绿蓝三色分别单独做 Gamma 校正,即实施 3Gamma 校正技术以获得显示特性的优化,才能有效抑制不同灰度下色温的漂移。但这种方式实施难度较大,在这里不做细述。

对于视频处理系统(VPS),可以对视频信号进行算法处理,比如可以采用灰度世界算法、完美反射算法、gray world-retinex 算法、模糊逻辑算法、动态白点算法等算法,通过调整通道增益使 3 个通道的平均值相等,就可以得到相应的增益。根据人眼感知到的白色是三通道值最大的像素点,而且白色的 3 个通道值相同,所以只要使 3 个通道的最大值相等,就可正确对白平衡进行调整,使液晶屏达到理想的彩色和白平衡效果。对视频信号进行算法处理,本文也不做详细介绍。

2.2.2 背光源白平衡调整方法

从背光源光谱方面考虑,对于光学系统来说,反射片、扩散板、下扩散片、BEF 等光路器件确定光学系统后,无法对这些光路器件进行控制和动态修正,因此,无法实现光学系统的白平衡控制;而对于背光源来说,该背光源由白灯和 OGB 彩灯构成,并且,液晶显示器背光调节采用调频算法,基于颜色控制技术,进行白平衡动态调整。

基于以上分析,本文提出一种基于 FPGA 调节 OGB 背光源的方法,能够实现白平衡动态调整。并且,白平衡调整后,液晶显示器扩大了颜色表现范围,图像显示逼真,液晶屏色温稳定,色坐标误差在 ± 0.005 范围以内。

3 总体方案设计

该显示器有接口模块、控制模块、LED 背光

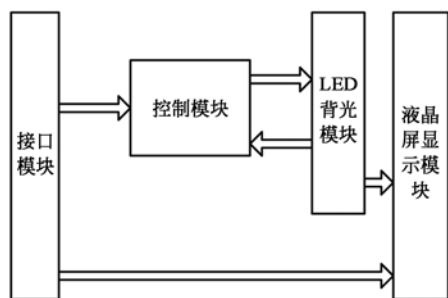


图1 显示器总体框图

Fig.1 Frame of LCD

模块以及液晶屏显示模块构成。接口模块主要完成显示器各种接口设计;控制模块主要完成 LED 背光控制、温度采集以及白平衡控制;LED 背光模块主要完成液晶所需的高亮 LED 背光源;液晶屏显示模块主要完成视频显示功能。其总体原理框图如图 1 所示。

3.1 硬件方案

控制器采用 FPGA 为主控核心,背光源采用直下式 LED 背光源,颜色传感器采用 TI 公司生产的 TCS230D,颜色传感器分别对红光、绿光、蓝光进行采样,数字传感器采用 AD 公司生产的 10 bit 器件 AD7814,对背光温度实时采集,10 位精度能够满足采样要求。在 FPGA 内部,分模块设计,分别完成背光控制、串口数据控制、离散量信号控制、PWM 波形发生控制、温度采集、白平衡控制。其硬件原理框图如图 2 所示。

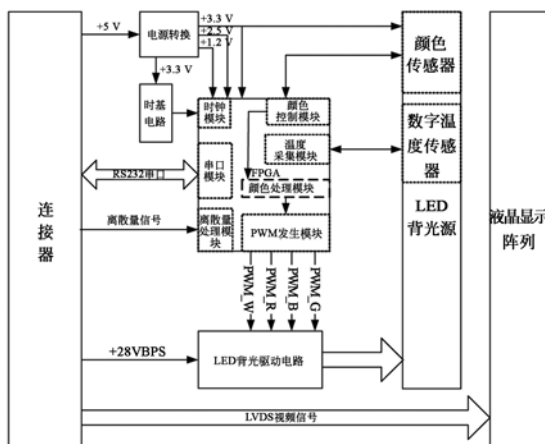


图2 硬件原理框图

Fig.2 Diagram of circuit scheme

3.1.1 传感器的选择

考虑到外围电路设计简单,抗干扰能力强以及空间面积小的特点,选择 TI 公司的生产的颜色传感器 TCS230D^[4]。TCS230D 是 TAOS 公司推出的带数字兼容接口的 RGB 彩色光/频率转换器,内部集成了可配置的硅光电二极管阵列和一个电流/频率转换。TCS230D 输出占空比为 50% 的方波,且输出频率与光强呈线性关系。通过 2 个可编程引脚 S0, S1, 可以选择 2%, 20% 或 100% 的输出比例因子。颜色传感器 TCS230D 的输入/输出引脚均可以直接与主控芯片 FPGA 引脚相连。电路设计简单、可靠^[5]。

3.1.2 软件算法实现

在 LED 背光源面上,安装有颜色传感器和数字温度传感器。系统工作时,首先读取存储器的初始值,然后检测颜色传感器 TCS230D 是否正常,如果不正常,直接输出预定的 PWM 波形,防止液晶屏依赖颜色传感器刺激值,导致出现液晶

屏严重偏色。如果检测正常,依次判断 O、G、B 采样值与基准值大小,调整 O、G、B 的 PWM 占空比,输出驱动 LED 灯 PWM 波形,保证在全温度范围内,液晶屏色温没有明显偏差。其 FPGA 软件流程图如图 3 所示。

软件代码部分的实现,分为 2 大部分:即颜色

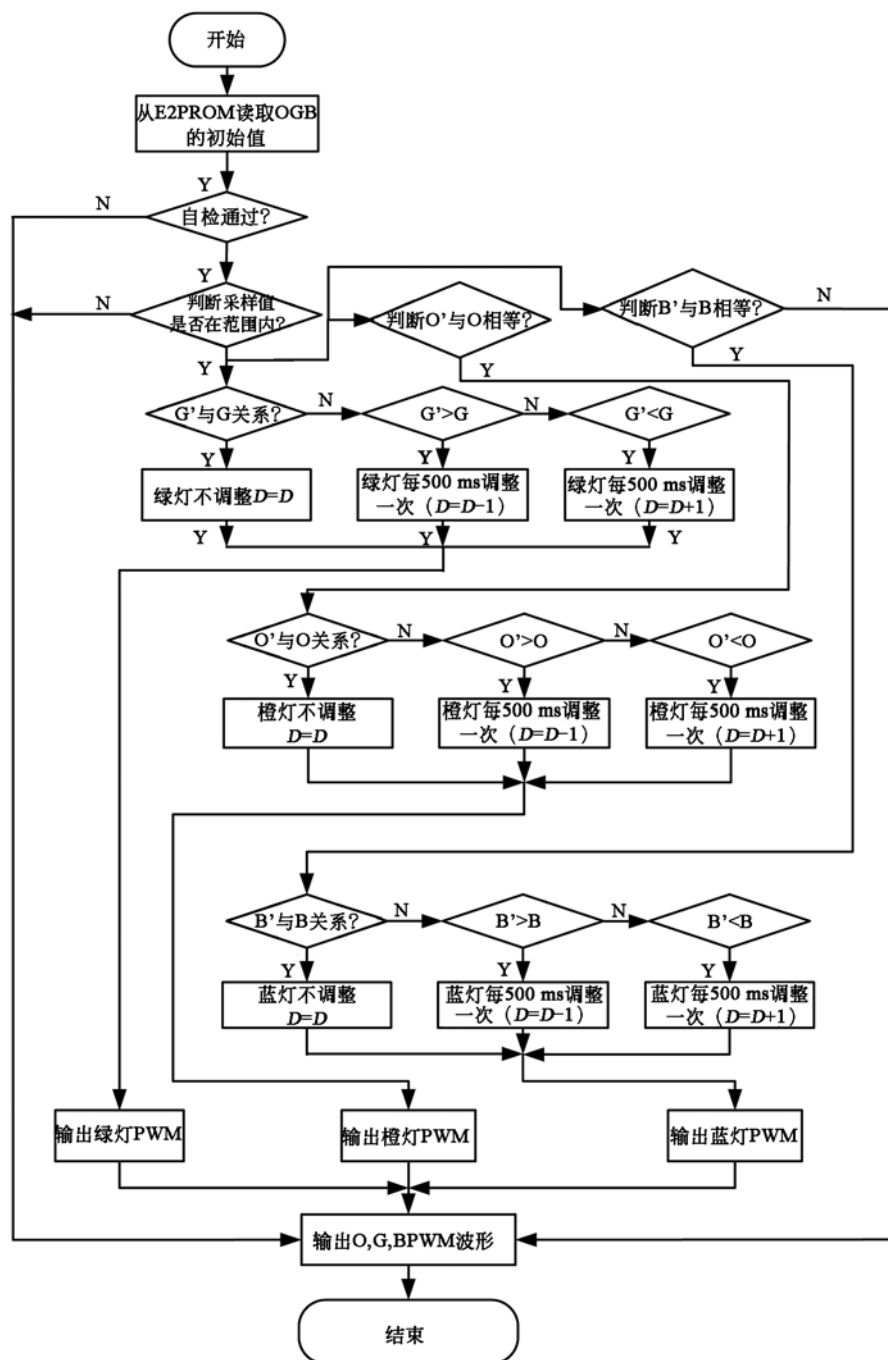


图 3 FPGA 软件流程图

Fig. 3 Software flow chart of FPGA

传感器的采样部分和PWM波形动态调整部分。由于颜色传感器FPGA代码实现部分较为简单,本文不做介绍。根据图3所示的FPGA软件流程图,其PWM波形动态调整的Verilog语言代码^[6]实现如下(仅对蓝灯控制代码):

```
feedback    contrl    ul(clk,reset,data_r,data_g, data_b,data_in,data_out_r,data_out_g, data_out_b);
input clk;//65MHZ 时钟输入
input reset;//复位输入
input[15:0] data_r,data_g,data_b;//颜色传感器 OGB 采样数据输入值
input[23:0] data_in;//OGB 数据输入值
output[7:0]data_out_r,data_out_g,data_out_b;
//PWM 波形 OGB 数据输出
reg[7:0]data_out_r,data_out_g,data_out_b;
//PWM 波形 OGB 数据寄存器
parameter b_max = 16'h0300;//蓝灯最大参考数据
parameter b_min = 16'h0010;//蓝灯最小参考数据
parameter ref_b=16'h00b6;//蓝灯数据参考值
reg[7:0] next_state,state;//状态寄存器
parameter idle=8'h00;//空闲状态
parameter state1=8'h01;//状态机
always@(posedge clk or negedge reset)//仅对蓝灯,只列出 1 个状态机
begin
if(! reset)//复位
begin
    data_out_b<= data_in[7:0];//直接赋值
end
else
begin
case(next_state)
idle: next_state<=state1;//进入状态机 1
state1:
    begin//采集到数据值不在设定的最大最小值范围内,进入状态机 2,不进行调整
    if((data_b> b_max)|| ( data_b< b_min))
        next_state<=state2;
    else
```

```
begin
    if(data_b> b_max+3)
        data_out_b<= data_out_b-1;//采集到值大于设定值 3 以上,逐次减少 1
    else begin
        if(data_b<b_min-3)
            data_out_b<= data_out_b+1;//采集到值小于设定值 3 以上,逐次增加 1
        else
            data_out_b<= data_out_b;//保持原值
        end
    end
default:;
endcase
end
end
```

4 试验数据结果分析

对显示器产品进行白平衡调整前后数据色温测试,其测试数据如表1所示。

表1 表白平衡调整前后色温对比表

Tab.1 Color temperature comparison before and after adjusting white balance

测试时间/min	测试场	色坐标				色温/K	
		调整前		调整后		调整前	调整后
		U	V	U	V		
0		0.198 1	0.468 0	0.198 1	0.468 0	6 503	6 503
15		0.197 2	0.468 2	0.197 7	0.468 3	6 549	6 510
30		0.196 3	0.467 4	0.197 5	0.468 1	6 857	6 533
45		0.195 1	0.466 7	0.197 2	0.468 0	6 781	6 541
60	白场	0.194 2	0.465 5	0.196 8	0.468 9	6 923	6 531
75		0.193 3	0.464 9	0.196 3	0.469 5	7 028	6 527
90		0.192 4	0.464 0	0.197 1	0.468 8	7 157	6 518
105		0.191 7	0.463 1	0.197 7	0.468 3	7 275	6 510
120		0.190 6	0.462 2	0.198 3	0.467 9	7 427	6 496
180		0.190 4	0.462 1	0.198 7	0.467 4	7 449	6 501

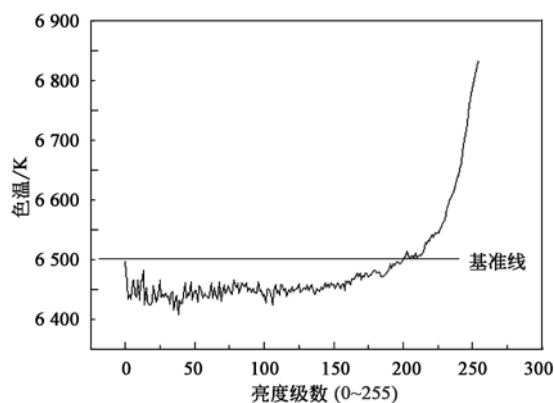


图 4 白平衡调整前色温曲线图

Fig. 4 Color temperature chart before adjusting white balance

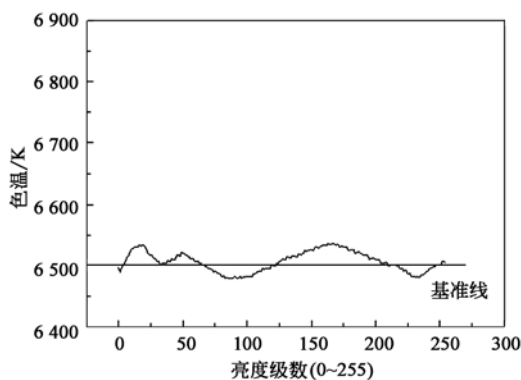


图 5 白平衡调整后色温曲线图

Fig. 5 Color temperature chart after adjusting white balance

从表 1 的测试数据可以明显看出,白平衡调整后,色温明显得到提高,色差范围控制在预计的 ± 0.005 范围之内。

从色温曲线图 4、图 5 中可以看出,白平衡调整前,色温曲线图随亮度级数、时间推移,色温值持续升高,达到一定时间后,色温值升高到 7 449 K;而白平衡调整后,色温值控制在一定范围内,最大值仅为 6 541 K,误差在 0.63% 左右,完全达到预定要求。

5 结 论

针对现有液晶显示器白平衡的调整方法,详细分析了白平衡调整的各零部件,从各个零部件可实现程度以及难易度出发,提出了一种基于 FPGA 调节 OGB 背光源的方法,并且通过软硬件的设计以及相关实验验证,实现了 LCD 显示器动态白平衡调整。白平衡调整后,液晶屏色温稳定,图像显示效果逼真,色差范围控制在 ± 0.005 之内,误差在 0.63% 左右,完全能够满足机载显示领域颜色稳定、色温的要求。该调整方法调节背光源白平衡已经投入使用,其性能可靠、稳定,实用性强。此方法值得推广。

参 考 文 献:

- [1] 汤顺青. 色度学[M]. 北京:北京理工大学出版社,1990.
Tang S Q. *Colorimetry* [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1990. (in Chinese)
- [2] 徐艳芳,黄敏,金杨. 基于色度比特性的显示器色度特性化[J]. 液晶与显示,2008,12(6):771-777.
Xu Y F, Huang M, Jin Y. Characterization of monitors based on colorimetric ratios [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2008, 12(6): 771-777. (in Chinese)
- [3] 马群刚. TFT-LCD 原理与设计[M]. 北京:电子工业出版社,2011.
Ma Q G. *The Theory & Design of TFT-LCD* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2011. (in Chinese)
- [4] 开跃春,金涛,贾宏志. 单片机实现 LCD 白平衡的自动调整[J]. 光学仪器,2008,12:45-48.
Kai Y C, Jin T, Jia H Z. Automatic adjusting of LCD white balance be implemented by MCU [J]. *Optical Instruments*, 2008, 12: 45-48. (in Chinese)
- [5] 孙立新. LCD 显示器的白平衡调整[J]. 液晶与显示,2011,26(2):220-223.
Sun L X. LCD white balance adjustment [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2011, 26(2): 220-223. (in Chinese)
- [6] 杨强浩. 基于 EDK 的 FPGA 嵌入式系统开发[M]. 北京:机械工业出版社,2008.
Yang H Q. *FPGA Embedded Systems Development Based on EDK* [M]. Beijing: China Machine Press, 2008. (in Chinese)

作者简介:赵小珍(1981—),男,甘肃天水人,硕士,工程师,主要从事测控技术以及光电显示等方面的研究。E-mail:icerain0938@126.com