

文章编号:1007-2780(2011)06-0774-06

基于液晶显示器的白场仪设计及其实现

王学亮, 巩 岩, 赵 磊

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 应用光学国家重点实验室,
吉林 长春 130033, E-mail: wangxueliang@ciomp. ac. cn)

摘 要: 研制了一种可用于现场标定色彩测量仪器的白场仪。该白场仪系统基于液晶显示器, 以 FPGA 结合 Flash 的方式实现, 通过对白场校准信息的记录和复现, 可以输出标准白场图像。针对白场仪的硬件系统和软件系统, 分别设计实现了 FPGA 控制板、液晶显示器的 SVGA 信号驱动和并行 NOR Flash ROM 控制器驱动。经测试, 该白场仪系统运行稳定可靠, 经计量部门校准后可以生成色温可调整的标准白场, 输出亮度误差在 24 h 内小于 0.50%。

关 键 词: 液晶显示器; 标准白场; FPGA; 并行 NOR Flash; SVGA 驱动

中图分类号: TN27 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3788/YJYXS20112606.0774

Implementation and Design of White Field Apparatus Based on LCD

WANG Xue-liang, GONG Yan, ZHAO Lei

(State Key Laboratory of Applied Optics, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China, E-mail: wangxueliang@ciomp. ac. cn)

Abstract: A white field apparatus was developed, with which the standardization of instruments for color measurement could be finished. The apparatus system was based on LCD and was realized with FPGA. By recording and reproducing the calibration information, the white field apparatus could provide white field with standard color temperature. The FPGA controller board, the SVGA signal driver for LCD and NOR Flash ROM driver were designed and realized for the hardware and software system. As tested, the white field apparatus could provide standard white fields with adjustable color temperature after calibration by metrology institutes and operated steadily and reliably with the luminance error of 0.50% within 24 h.

Key words: LCD; standard white field; FPGA; parallel NOR Flash; SVGA driving

1 引 言

在科研生产实践中,人们经常需要应用标准白场对彩色分析仪和白平衡仪等色彩测量仪器进行标定,只有标定后的仪器才能对色彩信息进行准确的测量、分析与调整^[1-4]。在标定过程中,标

准白场作为基准,其准确性将直接影响被标定仪器的测量精度。因此,标准白场的生成对于计量及科研生产具有重要的意义。目前,主要由计量部门利用传递标准白板产生标准白场来完成对色彩测量仪器的标定工作^[5-6]。通常,传递标准白板由硫酸钡(BaSO₄)、氧化镁(MgO)和聚四氟乙烯

收稿日期: 2011-05-04; 修订日期: 2011-06-07
基金项目: 国家自然科学基金项目(No. 40974110)
作者简介: 王学亮(1984—),男,辽宁铁岭人,硕士,主要从事液晶显示器驱动技术的研究。

(Halon)等材料压制而成,存在易破碎、易污染且使用寿命短的缺点^[6],而且需要配合使用标准光源来生成标准白场,不宜用作仪器现场标定的基准。

针对以上标准白场生成方法的不足,本文研制了一种基于液晶显示器的白场仪。该白场仪不依赖于标准光源,不但具有输出显示标准白场的功能,而且具有色温调整和数据存储功能,可以记录和复现多组不同色温的标准白场。同时,通过对液晶显示器不同显示区域的均匀性预校准,可以对显示器固有的显示不均匀性进行补偿。该系统以 FPGA 控制器实现,具有通用性强,集成度高和便于校准等特点,经计量部门的预校准后,可以作为标准传递的载体来建立标准白场,为色彩测量仪器的现场标定提供可溯源基准。本文介绍了该白场仪系统的硬件设计和软件设计,并对作为关键技术的 NOR Flash 控制器和 LCM1602 控制器的状态机设计以及 SVGA 信号的时序驱动进行了详细的阐述,最后给出了系统调试与测试的过程和结果。

2 工作原理和系统硬件构成

2.1 系统工作原理

白场仪系统工作过程分为预校准模式和输出模式。在预校准模式下由计量部门使用高一级标准的仪器对输出白场图像的色温值进行检测,同时对图像的 RGB 分量进行调整,直到输出白场图像的色温值达到要求,然后将校准后的 RGB 分量存储于白场仪的非易失性存储器中。在进行色彩测量仪器的标定时,该白场仪配置为输出模式,读取其内部存储的多组不同色温白场的 RGB 分量值并驱动液晶显示器输出白场图像,为色彩测量仪器的现场标定提供基准。

2.2 系统硬件框图

根据白场仪系统的工作原理,本文设计的白场仪硬件控制系统主要包含主控模块、人机接口模块、Flash 操作模块、输出驱动模块和调试模块 5 个部分,系统框图如图 1 所示。其中,主控模块由 FPGA 构成,用以实现对所有外围设备的操作和逻辑控制;人机接口模块由按键、DIP 开关和 LCM 构成,用以对白场仪的工作模式和白场色温的设定;Flash 操作模块由 Flash ROM 构成,该模块实现 Flash 的读、擦除以及写等操作,存储仪

器的配置信息和白场校准信息;输出驱动模块由 DAC 和同步信号构成,为液晶显示器提供标准白场输出所需要的驱动信号;调试模块由 LED、七段数码管和 RS-232 接口构成,为系统调试提供辅助功能。

图 1 电子系统的结构框图

Fig. 1 Architecture diagram of the electronic system

2.3 硬件说明

在本文中,FPGA 控制器采用 Xilinx 公司的 Spartan-3 系列 XC3S400,它将逻辑、存储及 I/O 管理结合在一起,且片内集成了 288 kbit 的 Block RAM 和数字时钟管理(DCM)^[7],其资源满足设计需要。DAC 采用 Analog Devices 公司的高速视频数模转换芯片 ADV7125^[8],以 1.225 V 作为参考电压, R_{set} 引脚与参考地之间接 514 Ω 电阻,使色彩的最高饱和度对应输出电流值为 19.04 mA,负载端产生 0.714 V 电压,符合 PAL 视频标准^[9]。Flash ROM 采用 Macronix 公司的 MX29LV320 并行 NOR Flash 并配置为字节模式,其存储容量为 32 Mbit,满足本文使用的 800 $\times$ 600@60 Hz 的 SVGA 标准分辨率和每像素点 3 个 8 位色彩分量值的至少 11 Mbit 存储容量要求。LCM 采用内置 HD44780 液晶显示控制器的 1602 型液晶模块,显示 16 个字符 $\times$ 2 行西文字符。

3 系统软件设计

本文设计的白场仪系统软件主要实现输入信号采集、机械按键去抖、内部显示模式状态机、SVGA 时序驱动、Flash 器件和字符型液晶模块驱动以及辅助调试用接口的驱动等功能。系统软件采用模块化设计的方式,每个模块独立设计有上层调用的接口,具有良好的可移植性和通用性。

3.1 SVGA 驱动时序设计

本文采用 800×600@60Hz 的 SVGA 标准分辨率^[10-11], 驱动时序如图 2 所示。Hsync 和 Vsync 是负脉冲行场同步信号,Hvdon 和 Vdon 是行场消隐信号。同步信号每周期分为显示、消隐前肩、同步脉冲和消隐后肩 4 个阶段,各阶段的时间要求在不同分辨率和场频率(刷新率)的情况下有所不同,表 1 给出了 SVGA 信号时序的时间要求。

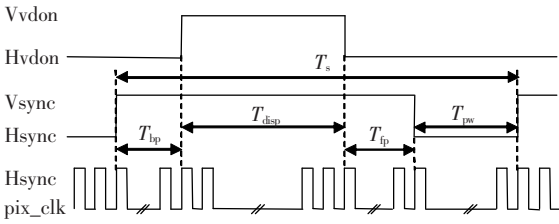


图 2 SVGA 信号时序图

Fig. 2 Timing diagram of SVGA signal

表 1 SVGA 信号时序
Table 1 SVGA signal timing

参数	场同步			行同步	
	时间	行	像素	时间/ μ s	像素
同步周期 T_s	16.6 ms	628	663 168	26.4	1 056
显示时间 T_{disp}	15.8 ms	600	633 600	20.0	800
消隐前肩 T_{fp}	79.2 μ s	3	3 168	1.1	43
消隐后肩 T_{bp}	554.4 μ s	21	22 176	2.1	85
同步脉冲 T_{pw}	105.6 μ s	4	4 224	3.2	128

3.2 Flash 控制器设计

本文中采用两个状态机构成 Flash 控制器来提供对 Flash 器件的操作^[12], 在此分别称之为控制器的上层状态机和控制器的下层状态机。其中,上层状态机负责为调用 Flash 控制器的上层模块提供配置寄存器接口,解码配置寄存器的数

据,输出内部操作码信号与下层控制器状态机进行通信;下层状态机解码内部操作码信号,驱动输出端口,采集输入端口,并控制时序。

Flash 控制器的上层状态机设计如图 3 所示,其工作过程如下:

(1) 复位以后,Flash 上层状态机处于空闲

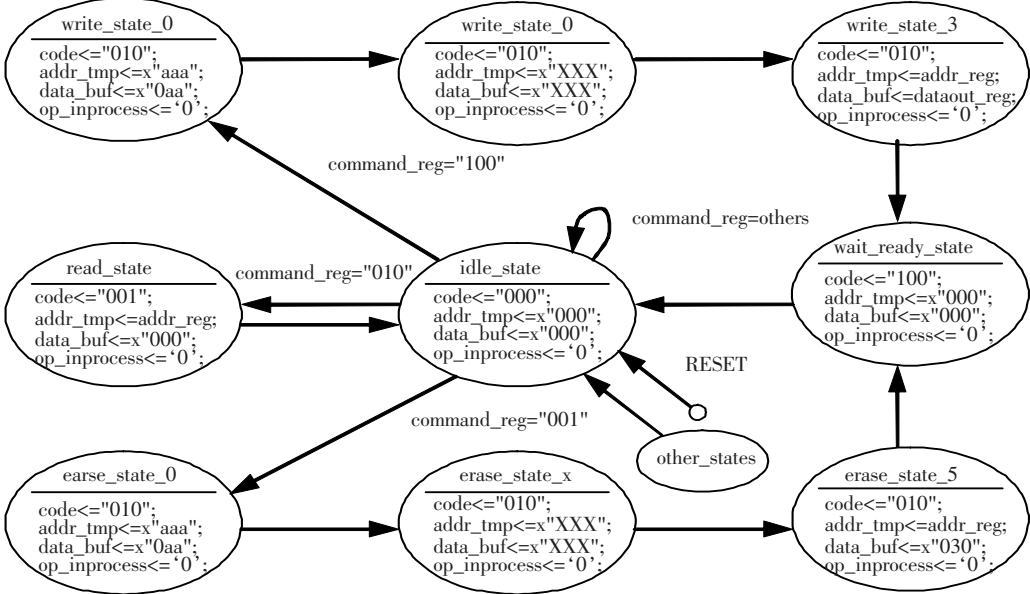


图 3 Flash 控制器的上层状态机

Fig. 3 Upper state machine of the Flash controller

(idle_state)状态;

(2) 所有不确定(other_states)状态自动回复到空闲状态;

(3) 只有在空闲状态对命令寄存器信号(command_reg)进行响应;

(4) 接收到非有效命令寄存器信号时,保持空闲状态;

(5) 接收到有效命令时,根据命令编码的不同进入不同的操作状态,包括读 Flash、写 Flash、块擦除和等待操作结束等状态。其中写 Flash 和块擦除各包括 4 个分状态(write_state_x)和 6 个分状态(erase_state_x),各分状态之间顺序转换,最后返回空闲状态。不同操作状态输出不同的内部信号和操作码信号(code)。

Flash 控制器的下层状态机设计如图 4 所示,其工作过程如下:

(1) 复位以后,Flash 下层状态机处于空闲

(idle)状态;

(2) 所有不确定(other_states)状态自动回复到空闲状态;

(3) 只有在空闲状态对操作码信号进行响应;

(4) 接收到非有效操作码信号时,保持空闲状态;

(5) 接收到有效操作码信号时,根据操作码编码的不同而进入不同的操作状态,包括对给定地址进行读写以及等待 Flash 器件的 Ready/Busy 输出等状态。其中读、写和等待各包括 5 个、6 个和 4 个分状态,各分状态之间顺序转换以满足控制信号或延时时序要求,最后返回空闲状态。不同操作状态进行驱动输出端口和采样输入端口。

在图 3 和图 4 中,CE、OE、WE、ADDR、DATA 和 RY_BY 是 Flash 控制器的端口,与 Flash

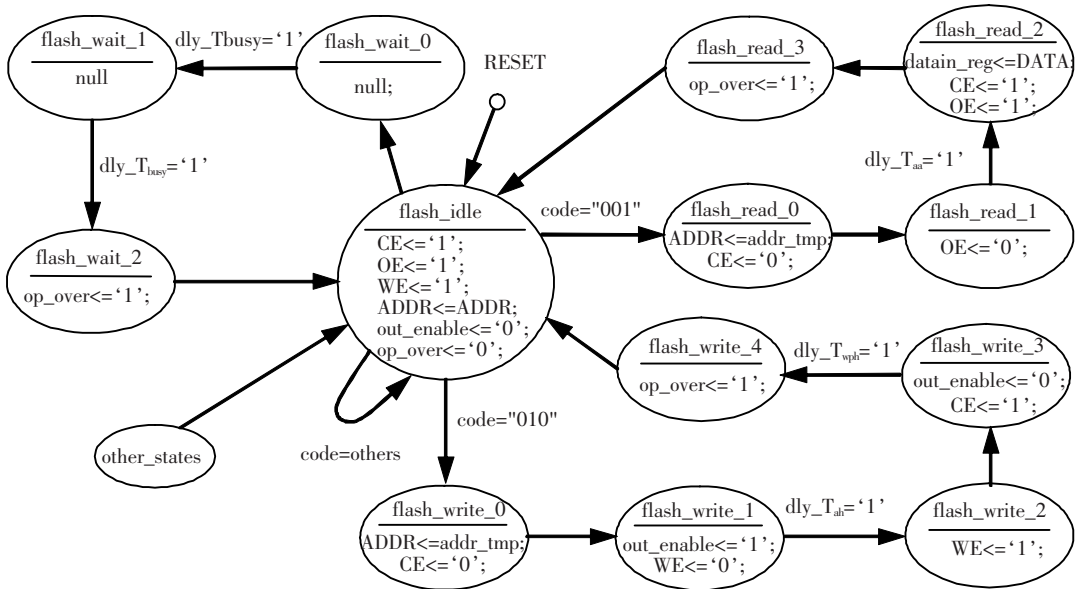


图 4 Flash 控制器的下层状态机
Fig. 4 Lower state machine of the Flash controller

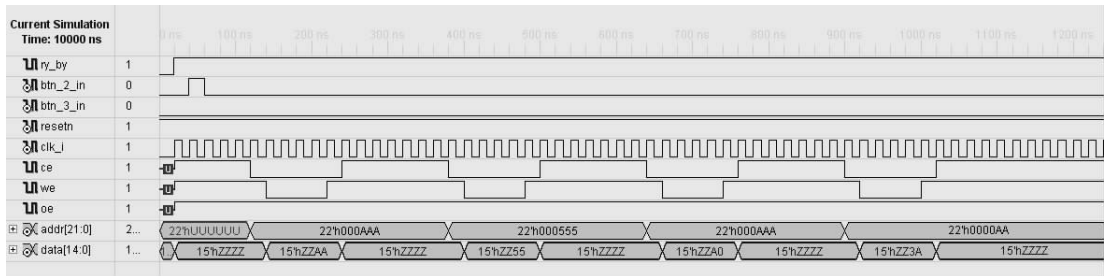


图 5 Flash 写数据操作的行为仿真
Fig. 5 Behavioral simulation of Flash operation of writing data

器件相应引脚直接相连,datain_reg、dataout_reg、addr_reg 和 command_reg 是 Flash 控制器的配置寄存器,其余是内部信号。图 5 是以该控制器对 Flash 器件的 0xAA 地址进行写入数据 0x3A 的操作行为仿真结果。其中设置 ry_by 始终输入高电平来模拟 Flash 器件的 Ready/Busy 输出,btn_2_in 输入模拟上层调用一次写操作。

3.3 LCM1602 控制器设计

LCM 控制器负责为调用 LCM 控制器的上层模块提供接口^[13-14],确保上电后执行且仅执行一次初始化,输出有效信号激励端口驱动模块执行写操作,并对更新显示的字符进行计数,其状态机设计如图 6 所示,工作过程如下:

- (1) 复位以后,LCM 控制器处于空闲(idle)状态;
- (2) 所有不确定(otherstates)状态自动转换到空闲状态;
- (3) 未初始化时,空闲状态自动顺序转换到清屏(cleardisplay)、功能设置(setdlnf)、输入方式

设置(setidsh)和显示开关设置(setdcb)等状态以完成初始化;初始化后,空闲状态响应更新显示信号(lcm_refresh),其有效时转换到设置第一行显示地址(setline0)状态,无效时保持在空闲状态;

(4) 设置第一行显示地址状态转换到更新显示数据(writedata)状态,更新显示数据状态对计数器(cnt)进行判断,当计数值为 15 时转换到设置第二行显示地址(setline1)状态,当计数值为 31 时转换到空闲状态,否则转换到等待写完成(writewait)状态;

(5) 等待写完成状态响应下层状态机反馈的写完成信号(write_done),其有效时转换到更新显示数据状态,以更新下一位字符,否则保持等待写完成状态。

在图 6 中,RS,RW、E 和 D 是 LCM 控制器的端口,与 LCM 器件相应引脚直接相连,lcm_refresh 和 disp 是 LCM 控制器的寄存器,为上层调用模块提供接口,其余是内部信号。图 7 是以该控制器对 LCM 器件的指令寄存器进行写入数据 0x38

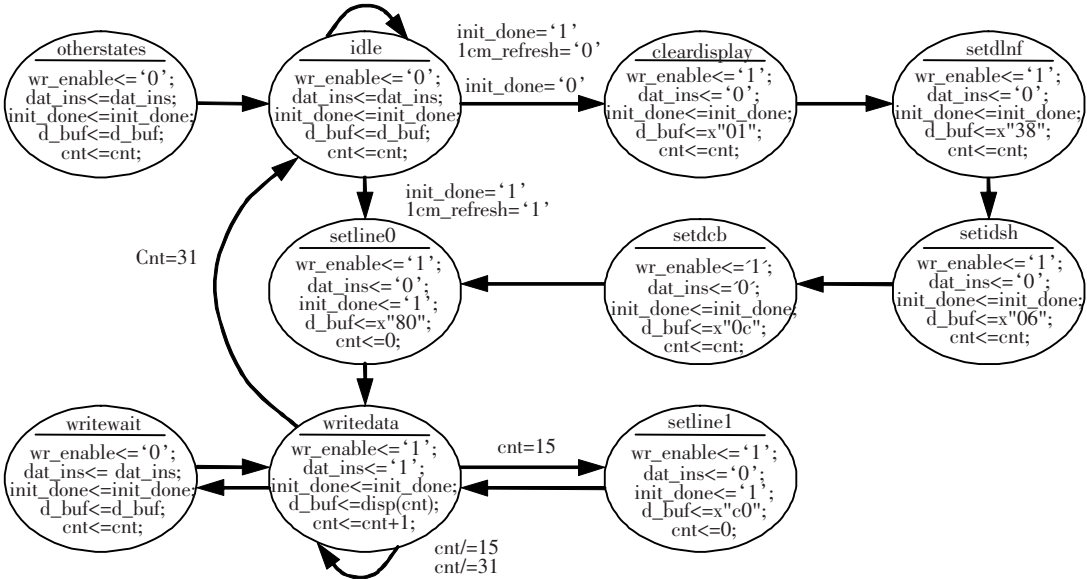


图 6 LCM 控制器的上层状态机

Fig. 6 Upper state machine of the LCM controller

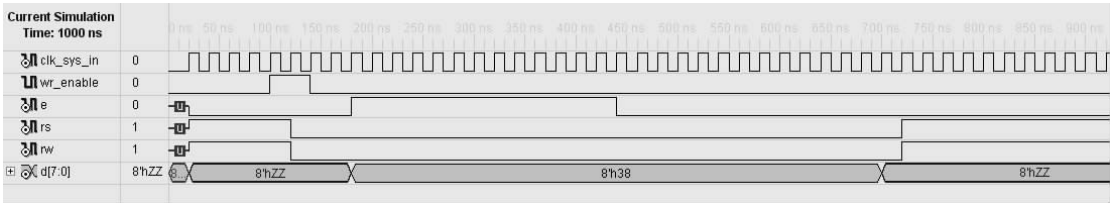


图 7 LCM 写指令操作的行为仿真

Fig. 7 Behavioral simulation of LCM operation of writing instruction

进行行为仿真的结果。其中设置 `clk_sys_in` 输入 50 MHz, `wr_enable` 输入模拟上层调用一次写操作。

4 系统调试

依据以上的设计思路,研制了如图8所示的

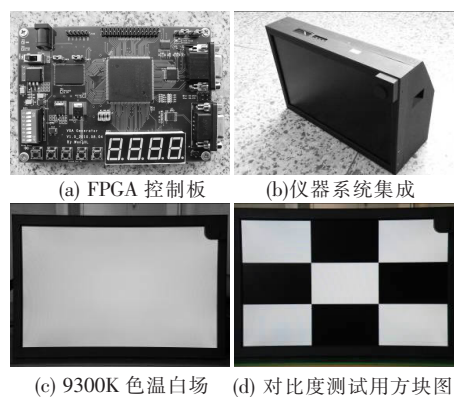


图8 白场仪系统的调试

Fig. 8 Debugging of the white field apparatus

白场仪系统样机。白场仪以 $800 \times 600 @ 60$ Hz 分辨率输出白场图像。经计量部门使用 PR-715 型亮度计进行预校准,可输出 6 500, 9 300, 12 500 K 三种色温的标准白场。修改设置后,该白场仪还可以输出黑白方块图像用于对比度的测试。经测试,所设计的白场仪系统运行稳定可靠,输出白场图像的亮度误差在 24 h 内小于 0.50%。

5 结 论

为了满足科研生产部门对标准白场的需求,研制了一种基于液晶显示器的白场仪系统。根据白场仪复现标准白场的工作原理,进行了系统的软件设计和硬件设计,实现了采用两层状态机构成控制器的软件设计方案。实验结果表明,该白场仪系统集成度高,预校准调节过程简单,能够记录和输出多种色温的标准白场,具有良好的亮度稳定性,为色彩测量分析仪器的标定提供了一种新的途径。

参 考 文 献:

- [1] 姚军,叶关荣.彩色分析仪的定标[J]. 计量技术,1997,(8):30-32.
- [2] 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,2008,30(6):45-48.
- [3] 姚军,叶关荣.一种新型白平衡仪的研究[J]. 仪器仪表学报,2000,21(3):280-282.
- [4] Chen Jiasheng, Zhu Xiaosong. White balance tester with color sensor for industrial applications[J]. SPIE, 1996, 2866:443-445.
- [5] 姚军.彩电标准白场快速建立方法及计量仪器的研究[J]. 仪器仪表学报,2002,23(增刊):79-81.
- [6] 藤秀金,曾晓栋.色度计量中标准白板的应用[J]. 计量技术,1996,(4):35-37.
- [7] 穆欣,胡君,宋启昌,等.空间相机集成测试系统的时钟同步[J]. 光学精密工程,2010,18(6):1436-1443.
- [8] 贾建禄,王建立,郭爽,等.基于 Camera Link 的高速图像采集处理器[J]. 液晶与显示,2010,25(6):914-918.
- [9] Slattery B. Video formats and required load terminations [EB/OL]. [2011-05-26]. http://www.analog.com/static/imported-files/application_notes/478955693AN205.pdf.
- [10] 马舜峰,金龙旭,安少婷,等.一种基于 ARM9 的彩色 TFT-LCD 模块设计及实现[J]. 液晶与显示,2010,25(5):718-723.
- [11] 石明江,张禾,河道清.基于 FPGA 的手持式数字存储示波器显示驱动设计[J]. 液晶与显示,2010,25(5):738-742.
- [12] 王明富,杨世洪,吴钦章.大面阵 CCD 图像实时显示系统的设计[J]. 光学精密工程,2010,18(9):2053-2059.
- [13] 包明,余成波.嵌入式处理器 Nios II 与液晶显示模块的接口及应用[J]. 电测与仪表,2006,43(1):53-56.
- [14] 杨旭光,丁铁夫,刘维亚,等.基于 FPGA 的高速 DSP 与液晶模块接口的实现[J]. 液晶与显示,2007,22(3):342-345.