

文章编号:1007-2780(2014)01-0094-07

基于 FPGA 的液晶显示屏测试用标准白场装置

赵 磊*, 王学亮, 巩 岩

(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)

摘要:针对液晶显示屏生产厂商对标准白场的需求,研制了一种用于现场色彩标定的标准白场装置。介绍了标准白场装置的工作原理,以及该装置的标准定标和用户输出 2 种工作模式。针对标准白场装置的 FPGA 主控模块、显示器模块、人机接口模块、探头模块等主要硬件进行了详细说明。以内部显示模块状态机、机械按键去抖和 LCM 控制器为例说明了标准白场装置的软件设计。对研制的标准白场装置进行了标准定标实验,并对其定标后的性能进行了测试。实验结果表明:该标准白场装置可输出 6 500、9 300 K 和 12 500 K 3 种色温的标准白场,具有不依赖标准光源、色温可调和数据存储等功能。标定后的标准白场装置能够生成色温可调的标准白场,24 h 内输出亮度误差小于 0.5%。基本满足液晶显示屏生产厂商对标准白场装置的运行稳定可靠、操作简单方便、精度高等要求。

关 键 词:标准白场;FPGA;液晶显示屏

中图分类号:TN949.6 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20142901.0094

FPGA based white field apparatus for LCD calibration

ZHAO Lei*, WANG Xue-liang, GONG Yan

(*State Key Laboratory of Applied Optics, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China*)

Abstract: In order to meet the demand of standard white field of LCD production company, a white field apparatus is developed, with which the calibration of color measurement can be finished. Firstly, the principle of the standard white field, its calibration working mode and output working mode are introduced. Secondly, the FPGA main control unit, the display unit, the man-machine connecting unit, the detecting unit and other hardware units are explained in detail. Thirdly, the software system, for example the display mode controller, the key-press debouncing method and the LCM controller are designed. Finally, the calibration experiment of the apparatus is finished, and its calibrated performance is measured. Experimental results indicate that the apparatus system based on FPGA is able to produce 6 500 K, 9 300 K and 12 500 K three different color temperature white fields. The white field apparatus can work without the standard light, and it has the advantage of color temperature adjusting and data storage. The white field apparatus could provide standard white fields with adjustable color temperature, the luminance error is better than 0.50% within 24 h. It can satisfy the requirements of strong stabilization, good operation and high precision.

Key words: standard white field; FPGA; LCD

收稿日期:2013-02-22; **修订日期:**2013-03-19.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 40974110)

* 通信联系人, E-mail: zhaol@sklao.ac.cn

1 引 言

近年来液晶显示屏(LCD)已逐渐成为计算机显示终端和家用平板电视的主流。液晶显示屏在生产环节中通常需要采用标准白场进行白平衡调整,以保证颜色复现的准确性与一致性。所谓白平衡调整,是指当输入不同等级的灰度信号时,复现的白场只有亮度的变化,色品坐标值与输入白场信号的色品坐标值保持一致。如果白平衡未调整或者调整不好,即复现的白场色品坐标值与输入白场信号的色品坐标值不一致,在彩色图像复现时出现较大的颜色失真,会引起所复现图像的不真实感。

液晶显示屏在进行白平衡调整时需要输入标准白场信号,以完成液晶显示器的图像测试色品坐标的调整标定。标准白场作为调整的基准,其准确性直接影响着被标定液晶显示屏的显示精度。因此研制能够生成标准白场的装置具有重要的意义。

基于此,本文研制了一种基于 FPGA 的液晶显示屏测试用标准白场装置。该标准白场装置具有不依赖于标准光源、色温可调的功能,经标准定标后可为液晶显示屏生产商提供标准白场。本文旨在介绍该标准白场装置的工作原理、软硬件系统设计以及实验测试结果。

2 标准白场装置的工作原理

物体颜色会随着投射光线颜色而发生改变,不同光线照射相同的物体时,呈现的颜色相差很大。为了比较区分不同光源的特性,国际照明委员会(CIE)规定了标准光源,并用基本参量色温表示^[1]。不同色温下,目标物的色彩会发生变化,其中白色物体的变化最为显著。为了尽可能减少外界光线对目标颜色的影响,使不同色温条件下都能还原被摄目标本来的色彩,需要进行色彩校正,同时由于白光中 RGB 分量强度相同,校正了白光也就可以校正其他颜色的光,因此调整白平衡的本质就是调整色温值^[2]。

白平衡调整的基础是三基色原理,根据原理任一种颜色都可以用红、绿、蓝三原色的量,即三刺激值 X、Y、Z 来表示,如公式(1)所示。

$$\begin{cases} X = k \int_{380}^{780} P_e(\lambda) x(\lambda) d\lambda \\ Y = k \int_{380}^{780} P_e(\lambda) y(\lambda) d\lambda, \\ Z = k \int_{380}^{780} P_e(\lambda) z(\lambda) d\lambda \end{cases} \quad (1)$$

其中: P_e 为发光体的相对光谱功率分布, k 为常数, $x(\lambda)$ 、 $y(\lambda)$ 、 $z(\lambda)$ 为 1931CIE-XYZ 标准色度观察者光谱三刺激值函数^[3]。

刺激值 Y 表示颜色的亮度,根据得到的三刺激值 X、Y、Z,由公式(2)可求出该颜色在 CIE 色度坐标系统中的色品坐标 (x, y) 值^[3]。

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

基于以上原理,本文研制了基于 FPGA 的液晶显示屏测试用标准白场装置。该装置工作过程可分为标准定标模式和用户输出模式。在标准定标模式下,采用标准仪器对研制的标准白场装置色温值进行检测,并调整图像的红、绿、蓝分量,使其与标准值一致,然后将定标后的 RGB 分量存储于存储器中,从而完成标准白场装置的标准定标。用户输出模式时,读取内部存储的多组色温白场的 RGB 分量值并驱动液晶显示器输出白场图像,为计算机显示终端和家用平板电视等液晶显示屏的现场标定提供基准。

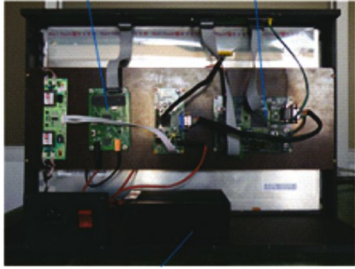
3 标准白场装置的硬件系统

标准白场装置的硬件系统如图 1 所示,主要包括 FPGA 主控模块、显示器模块、人机接口模块、探头和亮度采集模块、电源模块等。

FPGA 主控模块用以实现对所有的外围设备的操作和逻辑控制。FPGA 控制器采用 Xilinx 公司的 Spartan-3 系列 XC3S400,它将逻辑、存储器及 I/O 管理结合在一起,且片内集成了 288 kbit Block RAM 和数字时钟管理(DCM),其资源满足设计需要^[4]。DAC 采用 Analog Devices 公司的高速视频数模转换芯片 ADV7125,以 1.225 V 作为参考电压,Rset 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^[5]。Flash ROM 采用 Macronix

公司 MX29LV320 并行 NOR Flash, 将其配置为字节模式, 其存储容量 32 Mbits, 满足本文使用的 $800 \times 600 @ 60 \text{ Hz}$ 的 SVGA 标准分辨率和每像素点 3 个 8 位色彩分量值至少 11 Mbits 存储容量的要求^[6-7]。

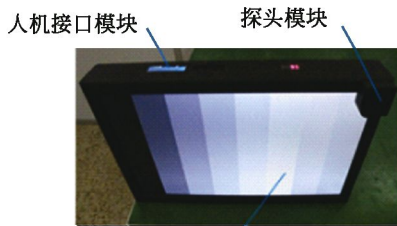
亮度采集模块 FPGA主控模块



电源模块

(a) 标准白场装置硬件系统后视图

(a) Back-view of white field apparatus hardware system



显示器模块

(b) 标准白场装置硬件系统前视图

(b) Front-view of white field apparatus hardware system

图 1 标准白场装置硬件系统

Fig. 1 Hardware system of the white field apparatus

显示器模块用以实现标准白场装置图像的输出, 选用 AU OPTRONICS 生产的 M220EW01 V0 型号 55.9 cm(22 in) 宽屏 16:9 LCD, 其主要性能参数为: 垂直视角 160° , 水平视角 170° , 光学响应时间 5 ms, 对比度典型值 1 000:1, 分辨率 $1\,680 \times 3(\text{RGB}) \times 1\,050$, 支持 WSXGA+ 显示格式, 达到 16.7M 彩色分辨率 (RGB 均为 8 位), 点距为 $0.282 \text{ mm} \times 0.282 \text{ mm}$, 尺寸为 $493.7 \text{ mm} \times 320.1 \text{ mm} \times 16.5 \text{ mm}$ 。

人机接口模块由按键和 LCM 构成, 用以对标准白场装置的工作模式和白场色温进行设定。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。LCM 控制器负责为调用 LCM 控制器的上层模块提供接口, 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^[8-9]。

探头模块用于实时采集液晶屏的显示亮度, 并通过亮度采集模块显示到标准白场装置顶部的四位数码管上。

4 标准白场装置的软件系统

标准白场装置的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。软件系统主要用于实现输入信号采集、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 LCM 器件驱动和辅助调试用接口驱动等功能^[10]。其中, 内部显示模式状态机、机械按键去抖和 LCM 控制器在本节中进行了详细介绍。

4.1 内部显示模式状态机设计

为了使白场仪可以显示不同色温的标准白场, 以及具有标定功能, 白场仪软件系统设计了显示模式控制状态机, 负责对多种显示模式进行切换。显示模式控制状态机设计如图 2 所示。

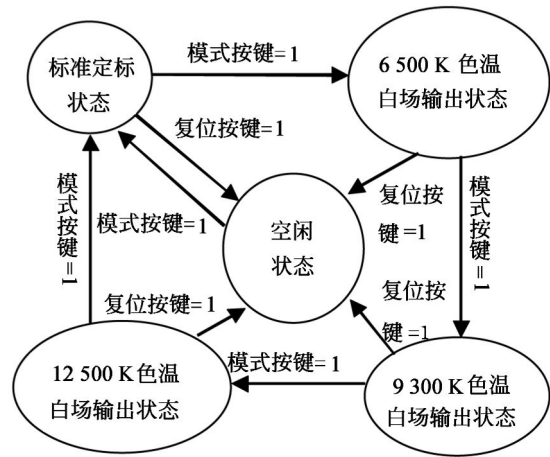


图 2 显示模式控制状态机

Fig. 2 State machine of the display mode controller

其工作过程如下:

(1) 系统复位以后, 显示模式状态机处于空闲(idle)状态;

(2) 检测外部“模式”按键的输入信号, 依次由空闲状态切换至标准定标状态、6 500 K 色温白场输出状态、9 300 K 色温白场输出状态、12 500 K 色温白场输出状态;

(3) 系统在任何其他状态下, 检测到外部“复

位”按键的输入信号时,系统都将切换至空闲状态。

4.2 机械按键去抖设计

机械按键是仪器的人机接口,由于机械触点存在弹性,每当按键闭合和断开时触点都会产生反弹,从而出现一个长约数毫秒的往复接通断开“抖动”现象,因此仪器内部的控制器要对机械按键的输入信号进行去抖处理。

本设计采用的 VHDL 去抖方法如图 3 所示,以单位时间信号作为进程的敏感信号,每隔单位时间执行一次判断流程。当输入信号保持设定时间的有效电平时,输出有效电平,否则输出无效电平。通过调整单位时间信号和计数器设定值可以改变对机械按键输入的采样灵敏度和去抖的作用时间。

图 4 是应用该去抖方法的行为仿真图,其中 btn_2_in 是输入信号,模拟带有机机械振动的按键输入,btn_sig 是经去抖处理后的输出信号。在仿真中,单位时间信号设定为 $2\ \mu\text{s}$,计数器设定值为 2 000,

有效电平设定为高电平,可以看到只有当输入信号保持 4 ms 高电平以后,输出信号才会变为高电平,否则始终输出低电平,达到去抖效果。

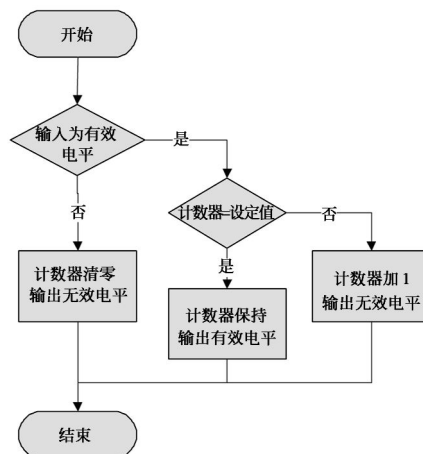


图 3 VHDL 去抖方法

Fig. 3 VHDL debouncing method

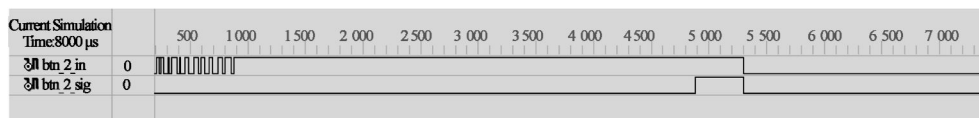


图 4 VHDL 去抖的行为仿真

Fig. 4 Behavioral simulation of debouncing operation

4.3 LCM 控制器的设计

LCM 控制器负责为调用 LCM 控制器的上层模块提供接口,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 5 所示,其工作过程如下:

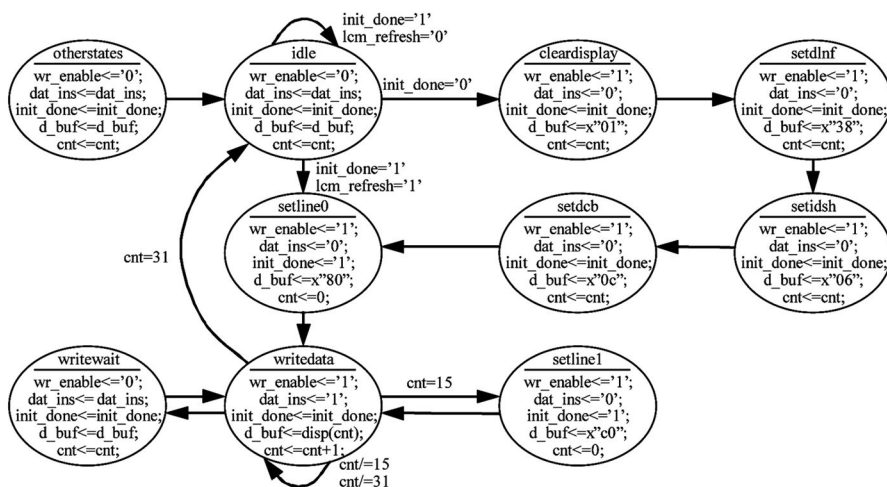


图 5 LCM 控制器的上层状态机

Fig. 5 Upper state machine of the LCM controller

(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; 已初始化时, 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, 其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, 更新显示数据状态通过对计数器(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。

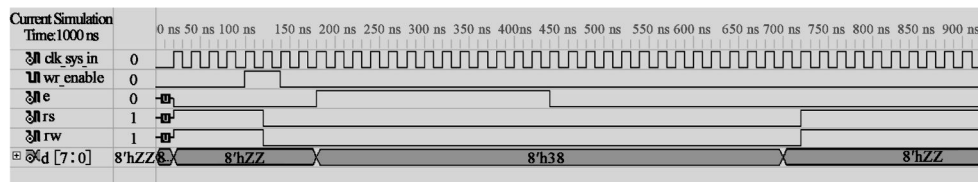


图 6 LCM 写指令操作的行为仿真

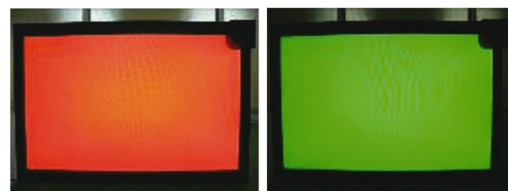
Fig. 6 Behavioral simulation of LCM operation of writing instruction

图 5 中, RS、RW、E 和 D 是 LCM 控制器端口, 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 6 是该控制器对 LCM 器件指令寄存器进行写入数据 0x38 进行行为仿真的结果。其中设置 clk_sys_in 输入 50MHz, wr_enable 输入模拟上层调用一次写操作。

5 实验研究

本文研制的标准白场装置功能上可以产生如下 3 种图像, 第一种图像是灰度值可调的纯彩色图像, 包括纯红、纯绿、纯蓝图像, 如图 7 所示, 显示此类图像时, 只要将 RGB 值设定到某一组合值便可; 第二类是色彩不同的彩条图像, 如图 8 所示, 显示此类图像时需通过在行计数器和列计数器送入不同的 RGB 值实现; 第三类是速度可调的运动图像, 显示此类图像时 RGB 值需随时间变化而变化, 如图 9 为方块运动图。

中国计量科学研究院采用 PR-715 光谱扫描系统对本文研制的标准白场装置进行了标准定标, 该光谱扫描系统具有测量 1931CIE- x , y 色坐标、 $X/Y/Z$ 三刺激值、色温 (CCT) 等参数的能力。标准白场装置标准定标在 25 °C、59% 湿度和暗室环境条件下进行, 测量过程中保证 PR-715



(a) 红色图像 (b) 绿色图像
(a) Pure red picture (b) Pure green picture



(c) 蓝色图像
(c) Pure blue picture

图 7 灰度值可调的纯彩色图像

Fig. 7 Pure colorized picture

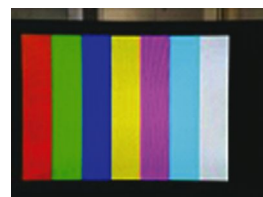


图 8 彩条图像

Fig. 8 Colorized strip of the white field apparatus



图9 速度可调的运动图像

Fig. 9 Movable picture with adjustable velocity

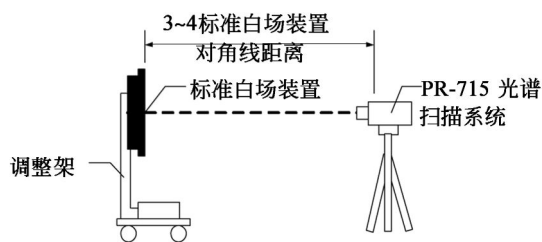


图10 标准定标装置示意图

Fig. 10 Schematic of the calibration device

光谱扫描系统与标准白场装置的被测区域正交垂直,测试距离为显示器对角线距离的3~4倍,如图10所示^[11-12]。

标准定标后的标准白场装置,以 $800 \times 600 @ 60$ Hz分辨率输出白场图像。可输出6 500、9 300 K和



图11 标准白场装置的12 500 K色温白场

Fig. 11 White field apparatus of 12 500 K color temperature

12 500 K 3种色温的标准白场,图11为输出12 500 K色温时的图像。测试表明,本文设计的标准白场装置运行稳定可靠,24 h内输出白场图像的亮度误差小于0.5%。

本文研制的标准白场装置,通过修改设置还可以输出用于对比度测试的黑白方块图像,如图12所示。

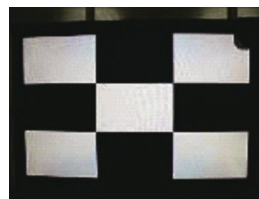


图12 对比度测试用黑白方块图像

Fig. 12 Black-white square picture used for contract testing

6 结 论

研制了一种基于FPGA控制器的标准白场装置。介绍了标准白场的工作原理,完成了装置的硬件系统设计和软件系统设计,最后对研制的设备进行了实验研究。实验结果表明,该标准白场装置可输出6 500、9 300 K和12 500 K 3种色温的标准白场,具有不依赖标准光源、色温可调和数据存储等功能。标定后的标准白场装置能够生成色温可调的标准白场,24 h内输出亮度误差小于0.5%。该标准白场装置的系统集成度高,标准定标调节过程简单,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,可以为液晶显示屏生产厂商提供色彩标定的基准。

参 考 文 献:

- [1] 孙立新. LCD显示器的白平衡调整[J]. 液晶与显示, 2011, 26(2): 221-223.
Sun L X. LCD white balance adjustment [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2011, 26(2): 221-223. (in Chinese)
- [2] 史榕. 自动白平衡算法的研究与实现[J]. 信息技术, 2012, (3): 85-93.
SHI R. Research and application of automatic white balance arithmetic [J]. *Information Technology*, 2012, (3): 85-93. (in Chinese)
- [3] 郝道银, 谈恒英. 工程光学[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
Yu D Y, Tan H Y. *Engineering Optics* [M]. Beijing: China Machine Press, 2011. (in Chinese)
- [4] 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.
MU X, Hu J, Song Q C, et al. Time synchronization of integrated testing system of space camera [J]. *Optics and*

- Precision Engineering*, 2010, 18(6): 1436-1443. (in Chinese)
- [5] 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.
Jia J L, Wang J L, Guo S, *et al.* High speed image grabber and processor based on camera link [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2010, 25(6): 914-918. (in Chinese)
- [6] 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.
Wang M F, Yang S H, Wu Q Z. Design of large-array CCD real time display system [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2010, 18(9): 2053-2059. (in Chinese)
- [7] 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.
Ma S F, Jin L X, An S T, *et al.* Design and implementation of chromatic TFT-LCD module based on ARM9 [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2010, 25(5): 718-723. (in Chinese)
- [8] 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.
Shi M J, Zhang H, He D Q. Design of display driver for oscillograph Based on FPGA [J]. *Electrical Measurement & Instrumentation*, 2010, 25(5): 738-742. (in Chinese)
- [9] 包明, 余成波. 嵌入式处理器 FPGA 与液晶显示模块的接口及应用[J]. 电测与仪表, 2006, 43(1): 53-56.
Bao M, Yu C B. Interface between the embedded processor Nios II and the liquid crystal display module and its application [J]. *Electrical Measurement & Instrumentation*, 2006, 43(1): 53-56. (in Chinese)
- [10] 王学亮, 巩岩, 赵磊. 基于液晶显示器的白场仪设计及其实现[J]. 液晶与显示, 2011, 26(6): 774-779.
Wang X L, Gong Y, Zhao L. Implementation and design of white field apparatus based on LCD [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2011, 26(6): 774-779. (in Chinese)
- [11] 陈赤, 刘文德, 徐英莹, 等. 标准白场仪及视角测量方法的研究[J]. 应用光学, 2011, 32(6): 1180-1183.
Chen C, Liu W D, Xu Y Y, *et al.* Standard white field instrument for measuring viewing angle [J]. *Journal of Applied Optics*, 2011, 32(6): 1180-1183. (in Chinese)
- [12] 陈赤, 刘文德, 徐英莹, 等. 平板显示器视角测量方法的比较[J]. 计量学报, 2009, 30(6A): 202-204.
Chen C, Liu W D, Xu Y Y, *et al.* Comparison of methods for measuring viewing angle of flat panel displays [J]. *ACTA Metrologica Sinica*, 2009, 30(6A): 202-204. (in Chinese)

作者简介: 赵磊(1982—), 男, 山东蒙阴人, 硕士, 助理研究员, 主要从事光机集成设计技术的研究。E-mail: zhaol@sklao.ac.cn