

用于标定 CCD 相机的高精度数控 LED 点光源

郭汉洲, 吴振刚, 宋宣晓*
(长春理工大学 光电工程学院, 吉林 长春 130033)

摘要:介绍了一种以发光二极管(LED)点光源作为相机标定光源的方法。根据LED点光源的特性,用恒流源给LED点光源提供所需的电流,用光照度计测量LED光源的光强度。由ARM单片下位机控制恒流源;通过串行通讯与上位机交换数据;由计算机作为上位机来管理数控恒流源和光照度计;根据所测光度值来调节电流,直到光度达到预想值。实验分析显示:LED点光源作为标定光源可以达到CCD标定的要求,精度也较高,能够很好地自适应控制LED的光照强度,达到了预期的效果,且系统使用方便灵活,性能稳定可靠。

关键词:标定光源;发光二极管;CCD;CCD相机

中图分类号:TN312.8; V447.3 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/CO.20130605.0759

High precision digital control LED spot light source used to calibrate CCD camera

GUO Han-zhou, WU Zhen-gang, SONG Xuan-xiao*
(*School of Optoelectronic Engineering, Changchun University of
Science and Technology, Changchun 130033, China*)
* *Corresponding author, E-mail: guohanzhou1@163.com*

Abstract: This paper introduces a method that uses a Light Emitting Diode(LED) point light source as the camera calibration light. According to the characteristics of the LED point light source, a constant current source is used to provide the necessary current and a illuminometer is used to measure the luminance of the LED point light source. The constant current source is controlled by an ARM MCU and its data are exchanged with the host computer through the mode of serial communications. The PC is used as the host computer, and it adjusts the current according to the luminance of the LED point light source until the luminance achieves an anticipated value. Experimental analysis shows that the LED point light source with a higher precision can meet the requirements of the calibration light source, and can adaptively control the luminance of LED well. The system is convenient and flexible, and its performance is stable and reliable.

Key words: calibration light; Light Emitting Diode(LED); CCD; CCD camera

1 引言

CCD 相机辐射标定的目的在于全面、精确地掌握其内部核心器件 CCD(电荷耦合器件)探测器的光电特性,精确地确定探测器的观测值与所测量的特定的物理量间的定量关系^[1]。随着现代 CCD 相机辐射精度的不断提高,对其标定精度及标定所用光源的要求日益提高,标定工作直接影响着 CCD 相机的成像质量。

目前,由于 CCD 相机的辐射分辨率不断提高,对其标定光源精度的要求也在不断提高。考虑传统的标定光源有一些不可克服的缺点,如可调级数少、结构复杂、占用空间大、控制方法复杂等,人们开始寻找新的标定光源,这已成为 CCD 相机辐射定标工作研究中的不可忽视的一部分。新型的发光器件 LED 相比于传统的发光器件有着可控级数多,结构简单,体积小等一系列优点,使其在光学检测方面有着良好的应用前景^[2]。

本文主要介绍了一种以 LED 点光源作为相机标定光源的方法。该方法以计算机作为上位机,基于 VC++ 的软件平台来控制 LED 的亮度,该系统还可以通过反馈的方法实现自适应控制 LED。

2 CCD 标定测试原理

2.1 CCD 标定测试原理及方法

CCD 相机辐射标定的任务就是在 CCD 探测器探测前输入的辐亮度与探测器数字化输出之间建立一种定量的关系。这种输入的辐亮度就是设定光波长带宽内的积分值和其数字输出间的关系,目的是建立 CCD 探测器的辐射动态范围和工作点。

图 1 为 CCD 相机的标定原理示意图,由积分球光源垂直照射到 CCD 相机上,再通过通讯串口将图像信号传递给计算机做相应的计算。

数字化输出与输入辐亮度之间的关系:

$$X = K \times A \times L + C, \quad (1)$$

式中: K 为变换系数, C 为探测器像元输出的数字

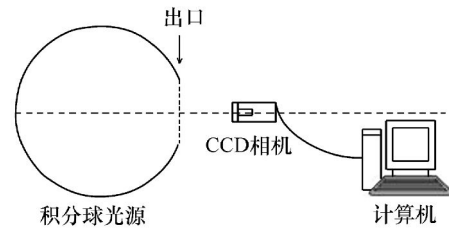


图 1 CCD 相机标定原理图

Fig. 1 Principle diagram of calibrating CCD camera

化暗电流信号, A 为各像元光电响应度, L 为目标辐射亮度, X 为 CCD 探测器中某像元探测器的数字化输出^[3]。

CCD 的测试是一项极其复杂且极其重要的基础工作,1993 年,欧洲欧空局(ESA)提出一个 CCD 测试规范,目前国内还没有一项完整的测试标准^[4]。

2.2 标定工作及对光源的要求

标定光源是辐射标定系统中最重要的一部分,好的标定光源应该具备稳定、可调节级数丰富、光谱范围宽、结构简单而易于控制等特点。

光谱辐亮度计、标准灯、积分球、标准反射率白板是传统标定光源的基本组成部分,这种传统的标定光源通过点亮积分球内不同数目的标准灯来控制积分球输出的辐亮度^[5]。传统光源虽然有稳定和光谱范围宽的优点,但同时也有可调级数不多,结构复杂不方便控制等一些缺点,所以为了解决传统标定光源的缺点,本文提出了一种以大功率 LED 为发光器件,以点光源的方式来定标的新型标定检测光源系统。大功率 LED 在温度恒定的时候,发光与通过其本身的电流成近似线性关系,因此,特别适于对所发光进行微调,从而大大提高了标定检测的精度^[6]。

图 2 是 LED 光通量与电流关系图,LED 的光通量随着通过 LED 的电流增大而稳定增加,呈近似线性关系^[7]。

点光源照度一般通过距离平方反比法来计算,因为 CCD 探测器是与点光源照射方向垂直的照射面,设 CCD 探测器与点光源距离为 L ,射向照射面的光强为 I_θ ,则指向平面照度 $E_n = I_\theta/L^2$ 。

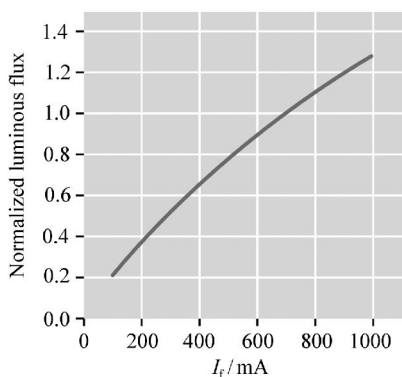


图2 LED 光通量与电流的关系曲线

Fig.2 Curve of relationship between the flux and the forward current of LED

3 以 LED 为发光器件的数控 CCD 标定光源系统

为了解决现有传统标定光源的不足,进一步提高 CCD 相机辐射标定精度,满足现代 CCD 相机对光学标定的要求,本文结合现代半导体光电技术的新成果,提出了一种新的以点光源形式的大功率 LED 作为发光器件的光源标定系统^[8]。这种新型光源具有结构简单,可调节级数丰富等诸多优点。本文所采用的是 RGB LED,兼顾了红绿蓝 3 种颜色,对 CCD 的标定更加全面。

图3是以大功率 LED 为点光源的标定光源系统的框图,系统主要由 5 部分组成:计算机、ATmega128 单片机、照度计、大功率 LED、恒流源和待标定 CCD 相机。整个系统是通过反馈的方法来达到自适应控制的目的。

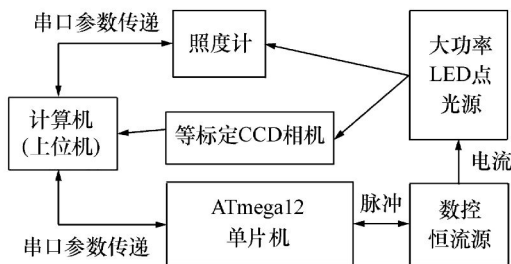


图3 标定系统原理图

Fig.3 Schematic diagram of calibration system

系统的工作流程是由计算机上位机向 ATmega128 单片机发送指令,单片机根据接收指令向数控恒流源发出相应的控制命令脉冲,数控恒流源根据命令增大或减小输出的电流,用来控制 LED 的光亮度,照度计测出此时 LED 的光度值(单位为 lx),再将光度值通过异步通信返回给计算机,计算机根据返回的光度值与所设定的光度值进行对比,进一步对 LED 的光度进行调节,从而达到 CCD 相机辐射标定的要求。

3.1 计算机控制

本系统采用计算机作为上位机,系统建立在 Windows 系统平台,采用 VC++ 6.0 为系统的上位机控制软件平台。实现以下几个功能:

- (1) 计算机与 ATmega128 单片机和照度计之间通过 RS232 串口通信;
- (2) 操作者通过界面由计算机向 ATmega128 单片机发送指令,以调节数控恒流源的电流;
- (3) 在计算机界面上实时显示系统的参数:照度值;
- (4) 可以设置照度值,同时与实时照度值进行对比,自适应地调节数控恒流源电流,以使 LED 照度达到理想值。

图4是计算机控制软件平台的界面,它的功能是接收实时光度值,设置光度值,对比实时光度值和设定光度值来进行自适应调节以及手动调节。



图4 控制界面

Fig.4 Control software interface

3.2 ATmega128 单片机

图5是 ATmega128 单片机串口通讯原理图。计算机与单片机通过 RS232 串口异步通信,1 位起始位,8 位数据位、1 位停止位、无奇偶校验位、波特率为 9 600 b/s、采用二进制文本数据的通信

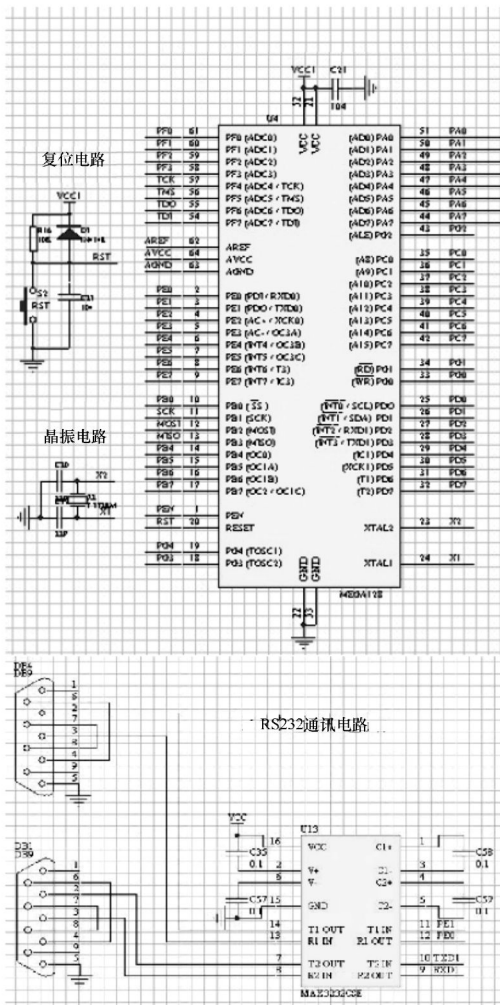


图5 ATmega128 单片机串口通讯原理图

Fig.5 Principle diagram of the serial port communication of ATmega128 single chip processor

协议^[9]。

单片机根据接收的命令,通过其 I/O 接口,产生脉冲和选择信号操控数控恒流源。

图6是ATmega128单片机的硬件图。

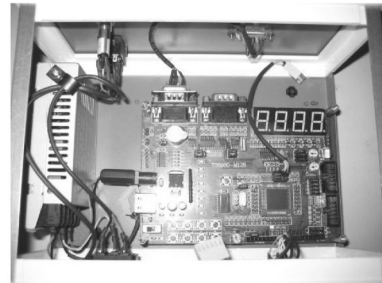


图6 ATmega128 单片机

Fig.6 ATmega128 single chip processor

3.3 数控恒流源

由于LED的发光光通量与流经其上的电流有近似的线性关系,所以采用了控制电流的办法来控制LED的发光。由于所选用的是大功率LED,所以要求恒流源能够提供0~350 mA大电流,且具有高精度的微调能力和高稳定性^[10]。

基于以上考虑,设计了由KC24H-300RX1线性模拟控制恒流源和X9C103数字电位计组成的数控恒流源^[10]。

其中,KC24H-300RX1模拟输入电压0~5 V可以使其输出0~300 mA的恒定电流,且输入电压与输出电流成正比,X9C103数字电位计采用分压方式,有100个档位,从而使恒流源可以输出0~300 mA不等的电流值。

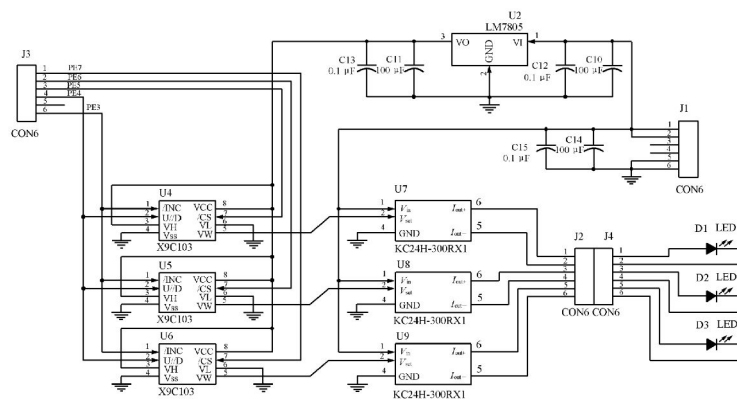


图7 恒流源原理图

Fig.7 Schematic diagram of constant current source

图7为数控恒流源原理图,每个LED灯都由一个X9C103和一个KC24H-300RX1控制。单片机I/O口的PE5、PE6和PE7分别连接控制红灯、绿灯、蓝灯的X9C103的CS端,其为使能端,低电平有效。单片机I/O口的PE3连接的是每个X9C103的INC端,PE3向INC发送负脉冲信号。PE4连接的是每个X9C103的U/D端,PE4输出为高电平时,每当INC接到一个负脉冲,电位计的电阻就会增大,即输出给LED的电流就会减小;相反,若PE4输出为低电平,每当INC接到一个负脉冲,电位计的电阻就会减小,即输出给LED的电流就会减小,从而达到了控制LED电流的目的。图8为数控恒流源电路板。

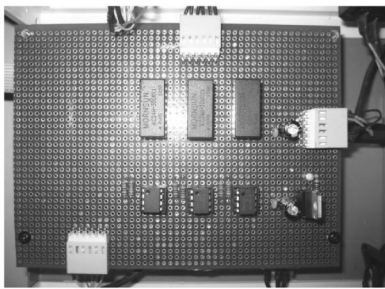


图8 数控恒流源电路板

Fig. 8 Circuit board of constant current source

3.4 照度计

照度计在系统中的作用是测量LED点光源发出的光度值,并将该值通过RS232串口返回给计算机。

照度计,又称勒克斯计,它是一种专门的仪器仪表,用来测量光度和亮度。光照强度(简称照度)就是物体被光照明的程度,即被照物体的表面所得到的光通量与被照面的面积之比。通常照度计由硒光电池和微安电流表组成,也有由硅光电池代替硒光电池的^[11]。图9是照度计的原理图。

照度计的定标原理:光垂直地照射在光电池上,由公式 $E = I/r^2$,通过改变 r 来得到不同光照度下的电流值,由 E 与 I 的对应关系将电流表的电流刻度转换为与其相应的照度值刻

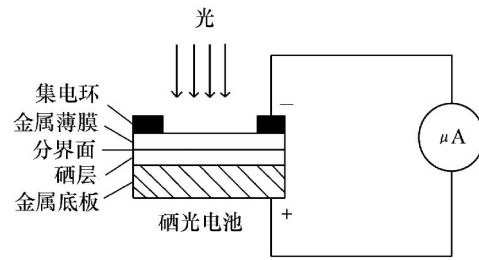


图9 照度计原理图

Fig. 9 Principle schematic of illuminometer

度^[12]。图10为照度计装置图。



图10 照度计装置图

Fig. 10 Setup diagram of illuminometer

照度计定标方法:在近似点光源的工作距离下,用光强标准灯照射在光电池上,不断地改变光强标准灯与光电池的距离 r ,记录下各个不同距离下的微安电流表的电流值,由公式 $E = I/r^2$ 来计算光照度 E 。通过上述方法得到一系列不同照度的光电流值 i ,再作光电流 i 与照度值 E 的变化关系曲线,就是该照度计的定标曲线。根据此定标曲线就可以对该照度计的表盘进行划分刻度,这一过程即是对照度计的定标^[13]。

3.5 实验 CCD 相机

CCD由一系列紧密排列的MOS电容器组成。它以电荷作为信号,实现电荷的存储和转移,是图像传感器的一种。它体积小,分辨率高,功耗低,灵敏度高,光谱响应范围宽,因此被广泛地应用于工业、医疗、通信等领域。它成功地取代了胶片,使相机成像更快、更直观^[14]。

该系统中的实验 CCD 相机来代替待标定 CCD 是为了检测 LED 作为标定光源的性能及指标,作为检测相机,它可以准确定位 LED 标定光源的不足,以便修正。

4 实验结果

图 11 是整个系统的装置图,整个实验过程需在暗场条件下进行,以避免杂散光对标定光源的干扰。

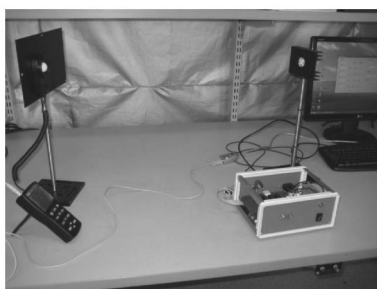


图 11 系统装置图

Fig. 11 Equipment diagram of the system

恒流源装置中的电位计有 100 个档位,因此恒流源输出的电流也是 100 个档位,软件控制平台的控制命令可以确定所需要发送的脉冲数,以确定恒流源电流的调节档位。

实验所用 LED 为大功率红绿蓝 LED,允许的最大电流值为 350 mA。受数控恒流源最大电流 300 mA 的限制,LED 的最大亮度分别为:白光为 114.8 lx,红光为 43.05 lx,绿光为 83.23 lx,蓝光为 9.04 lx。

分别对白光、红光、绿光和蓝光进行光度测试,测量各谱段光在不同电流档位时的光度值。在照度计与 LED 距离 50 cm 时测试得到结果如表 1。

图 12 是由表 1 得出的白光在不同电流档位的光度值曲线图。可以看出,大功率 LED 的光度值与电流基本上成线性关系,这是它作为 CCD 标定光源的一个优势,因此用 LED 作为 CCD 标定光的前景非常可观。

表 1 距离 50 cm 时各谱段光在各档位电流下的光度值

Tab. 1 Luminance values of each spectrum at different currents when the distance between LED and illuminometer is 50 cm

电流档位	白光/lx	红光/lx	绿光/lx	蓝光/lx
30	56.82	17.05	38.75	4.14
35	63.80	19.66	43.50	4.62
40	69.90	21.74	47.64	5.06
45	75.31	23.90	51.42	5.45
50	80.19	25.90	54.86	5.81
55	84.54	27.80	58.02	6.15
60	88.62	29.59	61.03	6.47
65	92.43	31.29	63.89	6.78
70	96.02	32.97	66.68	7.09
75	99.43	34.62	69.38	7.38
80	102.5	36.28	72.08	7.71
85	105.8	37.98	74.83	8.03
90	109.1	39.68	77.70	8.37
95	112.2	41.55	80.68	8.73
100	114.8	43.05	83.23	9.04

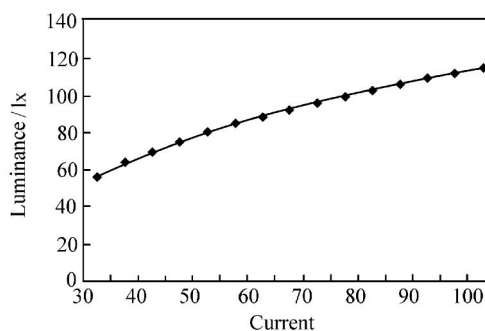


图 12 白光在不同电流档位的光度值曲线图

Fig. 12 Curve of the luminance at different currents

表 2 为白光在自适应调节下所达到的光度值。

尽管 LED 的线性度非常好,但是在两个电流档位之间光度值的变化有些偏大,而且在自适应调节过程中,实际的光度值与设定光度值差别不大,通过计算得到 LED 白光的光度值与设置光度值的平均误差为 0.19 lx,不能够完全满足 CCD 相

表2 白光在自适应调节时的光度值
与设置的光度值对比

Tab.2 Comparison of the luminance at adaptive
regulation and the luminance that expected

设定光度值/lx	实际光度值/lx
80.00	80.30
85.00	84.83
90.00	89.78
95.00	95.14
100.0	99.84
105.0	105.2
110.0	109.9
115.0	114.8

机辐射定标的要求,这表明 LED 的光度不够精确,也就是数控恒流源的输出电流不够精确,0 ~ 300 mA 的分级太少,因此可以考虑用精度更高的 D/A 变换器来更换 X9C103 数字电位计。

由于在 CCD 相机辐射标定中,LED 与 CCD 相机会有一定的距离,所以对亮度的要求就会增加,所以还可以考虑用输出最大电流为 350 mA 的 KC24H-350RX1 来替代 KC24H-300RX1 线性模拟控制恒流源,这会使 LED 的光度值范围扩大,充分满足 CCD 相机辐射标定的需求。

参考文献:

- [1] 薛旭成,石俊霞,吕恒毅,等.空间遥感相机 TDI CCD 积分级数和增益的优化设置[J].光学精密工程,2011,19(4):857-863.
XUE X CH,SHI J X,LÜ H Y,et al. . Optimal set of TDI CCD integration stages and gains of space remote sensing cameras[J]. *Opt. Precision Eng.*,2011,19(4):857-863. (in Chinese)
- [2] 金尚忠,方晓,陈志明.发光二极管光强的测量[J].中国计量学报,1995,1(9):61-66.
JIN SH ZH,FANG X,CHEN ZH M. Measurement of light intensity of LED[J]. *J. China Institute Metrology*,1995,1(9):61-66. (in Chinese)
- [3] 王宏波.数控 TDI CCD 标定光源系统的研究[D].长春:中国科学院长春光学精密机械与物理研究所,2009.
WANG H B. Measurement of light intensity of LED[D]. Changchun:Changchun Institute of Optics,Fine Mechanics and Physics,Chinese Academy of Sciences,2009. (in Chinese)
- [4] FUMITOMO H,PETER K,STEVEN P,et al. . White light from InGaN/conjugated polymer hybrid light-emitting diodes [J]. *Appl. Phys. Lett.*,1997,70(20):2664-2666.
- [5] 刘亚侠.TDICCD 遥感相机标定技术的研究[D].长春:中国科学院长春光学精密机械与物理研究所,2005.
LIU Y X. Research on the calibration technique of the TDI CCD remote sensing camera[D]. Changchun:Changchun Institute of Optics,Fine Mechanics and Physics,Chinese Academy of Sciences,2005. (in Chinese)
- [6] 谈茜,饶丰,张永林,等.由多个高斯函数表征的发光二极管光谱模型[J].中国光学,2012,5(5):493-498.
TAN Q,RAO F,ZHANG Y L,et al. . LED spectral model characterized by several Gaussian functions[J]. *Chinese Optics*,2012,5(5):493-498. (in Chinese)
- [7] 胡长奇,张方辉,张静.新型白光 LED 的光谱特性和相关结温特性[J].发光学报,2012,33(9):939-943.

实验所用的照度计在 100 lx 以下的精度为 0.01 lx,在 100 lx 及以上的精度为 0.1 lx,这也使得实验的结果存在一定的误差。

在实验过程中还发现大功率 LED 灯的温度稳定性不高,且存在着非均匀性问题。大功率 LED 在长时间使用的情况下,光度值会随着温度的上升而有下降趋势,这也是 LED 作为标定光源的缺点之一;而非均匀性问题则体现在当照度计与 LED 存在着水平的偏差时,光度值会有明显的变化,所以这些问题需要在进一步的实验中加以改进^[15]。

5 结 论

经过实验调试,发现该系统的可调级数丰富,光谱范围宽,且精度也较高,能够达到 CCD 相机标定的要求,其自适应调节的精度也满足了要求。该系统架构简单,易于控制,在 CCD 相机的辐射标定中能够发挥良好的作用,在光学检测领域也有着广泛的应用前景^[16]。但是 LED 本身也有局限性,如温度不稳定和 LED 发光不均匀等,这些需要在今后的研究中进一步解决。

- HU CH Q, ZHANG F H, ZHANG J. The spectral and junction temperature properties of new white light LED[J]. *Chinese J. Luminescence*, 2012, 33(9):939-943. (in Chinese)
- [8] 蒋大鹏, 赵成久, 侯风勤, 等. 白光发光二极管的制备技术及主要特性[J]. *发光学报*, 2003, 24(4):385-389.
JIANG D P, ZHAO CH J, HOU F Q, *et al.*. Fabrication and characteristics of white light-emitting diode[J]. *Chinese J. Luminescence*, 2003, 24(4):385-389. (in Chinese)
- [9] 唐明军, 唐慧强, 黄金燕. 基于 ARM 的可编程控制器的硬件设计[J]. *仪表技术与传感器*, 2006(5):40-41, 44.
TANG M J, TANG H Q, HUANG J Y. Hardware design of programmable controller based on ARM[J]. *Instrument Technique and Sensor*, 2006(5):40-41, 44. (in Chinese)
- [10] 常铁原, 朱桂峰, 胡重九. 一种高稳定数控恒流源的设计[J]. *电测与仪表*, 2010, 5(3):59-61.
CHANG T Y, ZHU G F, HU CH J. The design of a high stable digitally controlled constant-current source[J]. *Electrical Measurement & Instrumentation*, 2010, 5(3):59-61. (in Chinese)
- [11] 许艳. 照度计的特性及测量误差的定量评价[J]. *现代计量测试*, 2002, 5(3):34-36.
XU Y. Quantitative evaluation of the characteristics of illuminometer and the measurement error[J]. *Modern Measurement and Test*, 2002, 5(3):34-36. (in Chinese)
- [12] 高英明, 张环月, 邹念育, 等. 一种多功能照度计的设计[J]. *计算机系统应用*, 2012, 21(3):252-255.
GAO Y M, ZHANG H Y, ZOU N Y, *et al.*. Illuminance meter design with multiple functions[J]. *Computer Systems & Appl.*, 2012, 21(3):252-255. (in Chinese)
- [13] 谢洪波, 李韬, 李富琳, 等. LED 背光源中侧发光导光管长度与出光性能的关系[J]. *发光学报*, 2011, 32(9):934-938.
XIE H B, LI T, LI F L, *et al.*. Relationship between the length and emitted light property of side-emitting light pipe in led back light source[J]. *Chinese J. Luminescence*, 2011, 32(9):934-938. (in Chinese)
- [14] 薛旭成, 韩诚山, 薛栋林, 等. 应用双排 TDI CCD 提高空间推扫遥感相机动态范围[J]. *光学精密工程*, 2012, 20(12):2791-2795.
XUE X CH, HAN CH SH, XUE D L, *et al.*. Increasing dynamic range of space push-broom remote sensing camera by two-row TDI CCD[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2012, 20(12):2791-2795. (in Chinese)
- [15] 徐岩, 史燕琼. 线扫描缺陷检测系统中的 LED 光源设计[J]. *光学与光电技术*, 2011, 9(3):28-30.
XU Y, SHI Y Q. Design of LED illuminators used in line scan defect inspection system[J]. *Optics & Optoelectronic Technology*, 2011, 9(3):28-30. (in Chinese)
- [16] 赵亚辉, 范长江. 组合式发光二极管路灯反射器的设计[J]. *中国光学*, 2012, 5(5):520-524.
ZHAO Y H, FAN CH J. Design of combined reflectors used in LED street lamps[J]. *Chinese Optics*, 2012, 5(5):520-524. (in Chinese)

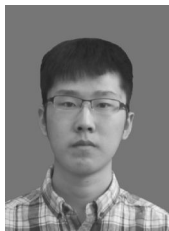
作者简介:



郭汉洲(1990—),男,吉林长春人,本科,主要从事光电工程方面的研究。
E-mail:guohezhou1@163.com



宋宣晓(1992—),男,河南新乡人,本科,主要从事光电技术方面的研究。
E-mail:songxuanyao@gmail.com



吴振刚(1992—),男,山东淄博人,本科,主要从事测控技术与仪器方面的研究。E-mail:468045741@qq.com