

文章编号:1007-2780(2015)01-0088-07

PWM 数字可调均匀光源的设计

范伟军*, 张 浩, 上官景仕, 余桂英

(中国计量学院 计量测试工程学院, 浙江 杭州 310018)

摘要:发光二极管(Light Emitting Diode, LED)作为一种场致发光光源,已经获得广泛的应用,但在影像测量中的下照明领域还处于起步和探索阶段。影像测量中,光照不均匀或者光强不适,都会影响所拍摄图像的质量。为获得高质量的图像,设计一种基于 PWM 数字可调的均匀光源系统,用于下照明的影像测量。系统通过正交实验法获得环形的 LED 阵列、灯的倾角、LED 灯的数量、LED 的环形直径等,搭建光源系统,使得 LED 环形阵列在视场 2 cm 内获得均匀的光强,结合 LED 发光特性设计 PWM 脉冲发生电路,通过上位机的软件让均匀光源强度 256 级可调,适合各种不同的场合,增强实用性。实验数据表明,利用光学显微影像测量系统,在最小放大倍率 0.7 倍以及最大放大倍率 4.5 倍两种极端情况下,检测 4 个级别的光强均匀性都超过了 83%。该系统完全能够在影像测量中达到要求。

关 键 词:LED; 均匀光源; 正交设计; STC89C52; PWM

中图分类号:TP29 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20153001.0088

Design of the digital adjustable even lighter based PWM

FAN Wei-jun*, ZHANG Hao, SHANG-GUANG Jing-shi, YU Gui-ying

(College of Metrology Technology and Engineering, China Jiliang University,
Hangzhou 310018, China)

Abstract: LED (Light Emitting Diode, LED) source is a field luminescence source light. Video lighting measurement is still in the initial exploration stage although it has gained a wide application. Illumination uneven and light intensity discomfort will affect the quality of images. A digital adjustable even lighter system is designed based on PWM to obtain the high quality images for image measurement of under illumination. This digital adjustable even lighter system can obtain annular LED array, light angle, the number of LED lights, light ring diameter with the orthogonal experiment method. We also build a light source system to gain even lighter among 2 cm view field in the LED circular array. A circuit of PWM pulse generation is designed according to the LED light features to gain an even light of 256 adjustable intensity through the PC software on a variety of different occasion. Four different levels of intensity uniformity is tested in the experiment, and experimental data shows that the intensity uniformity reaches up to 83% at the field at 0.7X and 4.5X using an optical microscopic image, which meets the requirements of the image measurement.

Key words: LED; even lighter; orthogonal design; STC89C52; PWM

收稿日期:2014-05-08; 修订日期:2014-06-17.

基金项目:国家自然科学基金(No. 51005220); 浙江省重大科技专项(No. 2011C12025)

* 通信联系人, E-mail:fwj@cjl.edu.cn

1 引 言

在影像测量工件基本尺寸的过程中,检测工件轮廓需要采用下照明,光源的均匀性和适中的光强是非常重要的指标^[1],不均匀的光源会造成不均匀的反射。光源较弱时,图像上的噪声增强、光圈加大、景深减少;光源较强时,图像亮度失真,给后期图像处理以及数据分析带来不便,有必要设计一种精确数字可调的均匀光源,适用于二维光学测量系统^[2]。其中 LED 阵列和导光板可以得到均匀的光源,LED 作为第四代照明光源,和传统光源相比,其集成了高效率、低能耗、长寿命、低污染等诸多优点,是未来理想的替代光源^[3]。

为了保证在测量中有好的照明环境,应设计出具有较理想亮度和照明均匀度的 LED 阵列。环形阵列可以显示被测物体边缘和高度变化,突出难以看清的部分,是边缘检测和损伤检测的理想阵列方式。将 LED 阵列设计成中央视场直径 2 cm 内的环形阵列。其控制器接收来自上位机的命令和参数,经过处理,由驱动电路控制 LED 光源按照设定实现 PWM 调光。

本文设计了一种基于 PWM 数字可调的均匀光源系统,系统分为 LED 均匀光源的设计、LED 驱动电路的设计。LED 均匀光源的设计是通过

正交实验法计算出 LED 的数量(4~12 个)和倾角(35~45°)等设计出一套均匀光源,LED 驱动电路的设计通过控制器程序控制 D/A 转换输出模拟电压,输入恒流源驱动 LED。

2 LED 均匀光源的仿真与设计

作为照明光源,要求在照明区域内具有一定的均匀光通量和照度。但单颗 LED 的功率很小,所以采用 LED 的曲线阵列形式,保证中央视场直径 2 cm 内获得较理想的亮度和照明均匀度^[4]。

正交实验设计是利用正交表来安排与分析多因素实验的一种方法。从实验因素的全部水平组合中,挑选部分有代表性的水平组合进行实验,对这部分实验结果分析,全面了解实验的情况,找出最优的水平组合。

LED 阵列式照明系统,影响照明效果的因素有 LED 数量、LED 环形曲线半径、LED 倾角、发光面与照射目标面的距离等^[5]。因为所需视场直径 2 cm,而环形阵列半径为 3 cm 时符合设计要求,因此确定 LED 的数量与倾角,以及其与目标平面的距离为正交实验因素,选用 6 因素 5 水平的正交表(正交表 L₉(3⁴)),取前四列,如表 1 所示。经反复尝试,最终确定因素水平:LED 数量在 8~12 之间,光源距目标面距离 2.5~6.5 mm,LED 倾角在 35~45°^[3]。

表 1 LED 照明方案正交实验表
Tab. 1 LED lighting solutions orthogonal table

编号	LED 数量	发光面与照射目标面的距离/mm	LED 倾角/°	LED 环形直径/cm	均匀性/%
1	4	2.0	39	3.0	52.096 1
2	4	2.5	41	3.5	59.197 6
3	4	3.0	43	4.0	52.892 4
4	4	3.5	45	4.5	61.111 5
5	4	4.0	47	5.0	62.938 7
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
16	10	2.0	45	3.5	72.803 1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
22	12	2.5	39	5.0	68.467 4
23	12	3.0	41	3.0	86.410 3
24	12	3.5	43	3.5	71.748 3
25	12	4.0	45	4.0	68.826 6

表中均匀性为目标面上中心直径为 2 cm 的最小照度与最大照度的比值。第 16 和 23 组实验均匀性较好,其照度分布如图 1 和 2 所示,在 $\Phi 20$ mm 的范围内照明均匀性达到了 72.803 1% 和 86.410 3%。

但第 16 组的照明强度有所不足,在各因素水平下均匀性波动较大,故可确定 LED 数量为 12

粒,同理算出各因素在不同水平下均匀性如表 2 所示。

结合表 1 和表 2 作图分析确定 LED 曲线阵列半径为 3.5 cm 时,在中心获得直径为 2 cm 的均匀光强视场。LED 倾角变化时,光源的均匀性处在较好水平,且波动较小,为便于设计设定倾角为 45° 。发光面与照射目标面的距离在 2~3.5 mm 变化时,均匀性相对较好。

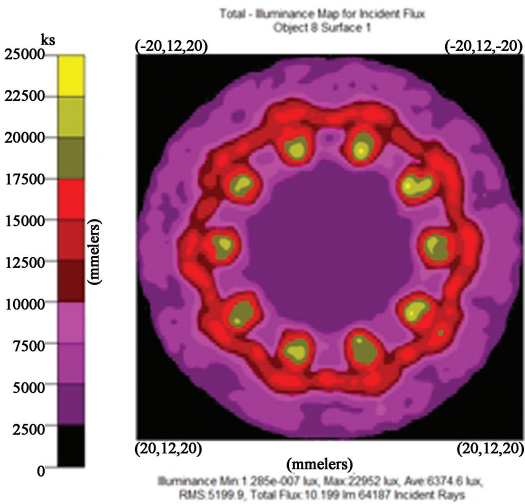


图 1 16 组曲线阵列光照图

Fig. 1 The 16th figure curve array illumination

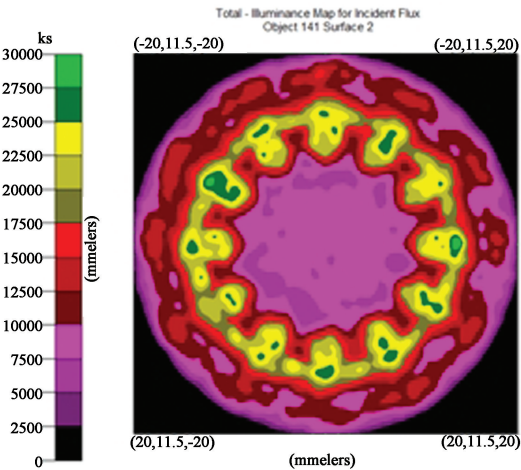


图 2 23 组曲线阵列光照图

Fig. 2 The 23th figure curve array illumination

表 2 各因素在不同水平下均匀性

Tab. 2 Uniformity of factors at different levels of uniformity

	LED 的数量	发光面与照射目标面 的距离/mm	LED 倾角	LED 环形直径/cm
水平 1	0.576 472 69	0.630 216	0.540 295	0.345 978
水平 2	0.407 098 74	0.518 677	0.604 403	0.586 008
水平 3	0.423 803 45	0.562 754	0.589 582	0.587 740
水平 4	0.514 818 78	0.521 817	0.513 952	0.581 718
水平 5	0.751 909 71	0.440 639	0.525 871	0.572 659
极差	0.344 810 97	0.189 577	0.090 452	0.240 030

3 LED 驱动电路总体设计

为提高光源稳定性,设计一种高精度可调的均匀光源驱动电路,以单片机为核心,通过 D/A 转换输出模拟电压,输入到恒流源电路驱动 LED^[7]。其控制系统框图如图 3 所示,系统包括

PC 机软件、RS232 串口、STC89C52、DAC0808 数模转换模块、恒流源电路等^[8]。

3.1 单片机控制器与 D/A 转换电路接口

系统单片机选用 STC89C52,是八位高性能 MCU,该芯片采用了高性能的处理器结构,指令执行时间只需 2~4 个时钟周期,6 倍于标准 80C51 器件。只需要较低的时钟频率即可达到同

样的性能,这样降低了功耗和 EMI^[9]。电路设计中,STC89C52 的 P2.0-P2.7 与 DAC0808 的 A1-A8 脚相连用于发送控制码。数模转换电路如图 4 所示^[10]。

8 位并行数模转换器 DAC0808,该芯片功耗低,精度为 0.019 53 V,满足 LED 光强控制要求,它的片内高精度输出放大器支持轨对轨的输出,A1~A8 是并行数据输入端,通过它接收控制码。DAC 的 VREF 端输入的电压基准为 5 V,输出电压如式(1)所示,实现了 256 级可调。

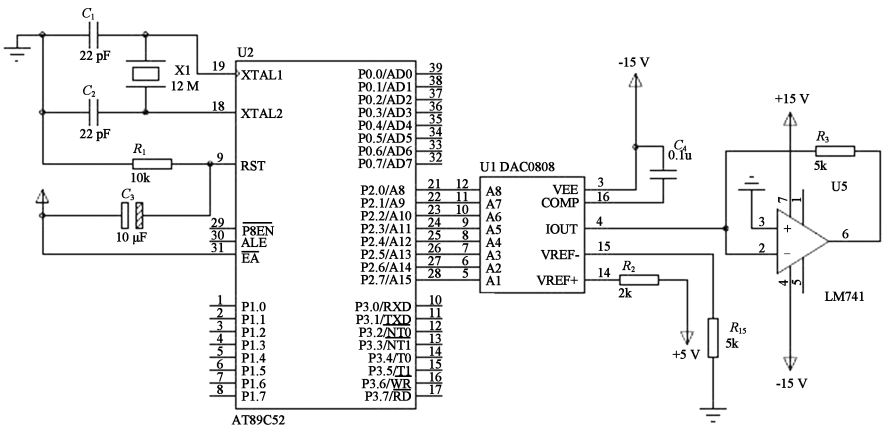


图 4 系统数模转换电路图
Fig. 4 Circuit diagram of the digital-analog conversion system

$$V_o = 5V(\frac{A_1}{2} + \frac{A_2}{4} + \dots + \frac{A_8}{256}), \quad (1)$$

式中: $A_1 \sim A_8$ 是单片机接收上位机发给 DAC 的控制码。

3.2 恒流源电路

控制器发出的每一个控制码都对应 D/A 输出的一个恒定电流的电流源,经高增益运放转换为电压输入到恒流源电路中。如图 5 所示为恒流源电路,该电路属于电流串联负反馈的拓扑结构,反馈组态能稳定输出电流。在电流源电路中, V_{in} 是前级 DAC 输出的控制电压信号,其范围是 0~5 V。电路中采用的集成运放 LM358 内部包括有两个独立、高增益、内部频率补偿的运算放大器。LM358 内部运放 1 的输出电压经电阻 R_1 反馈至反相输入端,构成同相比比例电路。功率三极管与运放的基极相连,用来增加驱动电流。在 LM358 的同相端输入电压恒定时由于负反馈的存在,保证了 LM358 输出电压恒定,从而使流经 LED 负载的电流为恒定电流,且耗能少,延长

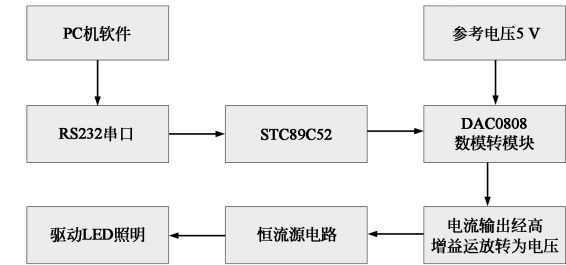


图 3 控制系统框图
Fig. 3 Block diagram of control system

灯具^[11]。

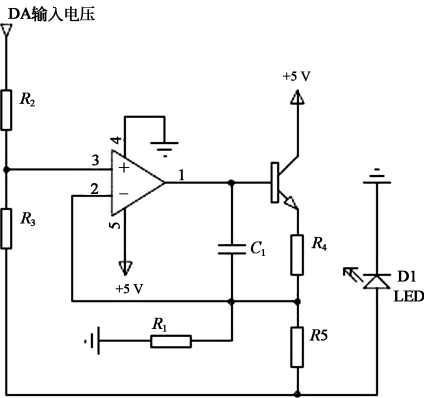


图 5 恒流源电路
Fig. 5 Constant current source circuit

4 通信程序设计

通信程序是烧写到 STC89C52 中的下位机

程序,串口通信采用方式 1,其波特率由定时器 1 的溢出率控制。与串口通信有关的寄存器主要是 SCON,其中 SM0 和 SM1 确定串口的工作方式, TI 和 RI 是串口发送和接收的标志位,重要的一点是这两个标志位不能自动清零,需要通过软件清零的方式清零。还有一位就是 REN(允许接收控制位),只有当 REN=1 时才允许接收 RXD 上的串行数据;若 REN=0,则禁止接收。

为方便软件的设计,定时器 1 的工作方式选择方式 2,为可自动重新装载的 8 位计数器。只要给定时器的高位和低位设置一样的初值,就可以方便的控制串口通信的波特率。由此可以设置 SCON 的值为 0x50。

单片机采用内部时钟电路,外接 11.059 2 MHz 的晶振。当定时器采用方式 2 工作时,对于定时器初值 X 可以通过式(2)得到,其中 SMOD 是 PCON 寄存器中的一位,在计算时直接影响结果。

$$X = 256 - 2^{SMOD} \times f_{osc} / (384 \times \text{波特率}). \quad (2)$$

当设定波特率为 9 600 b/s 并且 SMOD=0 时,计算的定时器初值为 0xfd。

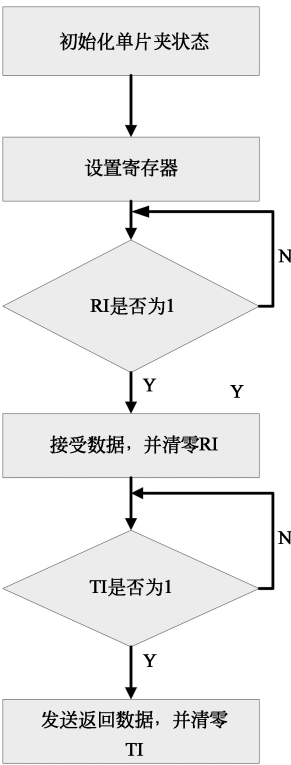


图 6 通信程序流程图

Fig. 6 Communication program flow chart

单片机与上位机通信程序流程图如图 6 所示,用查询方式接收和发送数据,不停的检测发送标志位(TI)和接收标志位(RI)有没有置 1,如果置 1,则检测缓冲区中的数据并将其取出,发送到相应的 I/O 口,同时将此时 I/O 口的数据发送到缓冲区用以返回单片机 I/O 口的工作状态。

5 LED 均匀光源实验验证

利用光学显微影像测量系统,在所设计的 LED 环形阵列光源上方的测量平台上放置导光毛玻璃。考虑实际测试情况,在最小放大倍率 0.7 倍以及最大放大倍率 4.5 倍两种极端情况下,采集观测面上的均匀照明图像,通过上位机亮度调节软件调节光源亮度级别分别为 60、120、240、255,并分别采集这四级亮度的数字图像,对其进行图像处理,并用中值滤波算法滤除图像采集过程中的椒盐噪声干扰,研究验证设计的均匀面光源的均匀性。

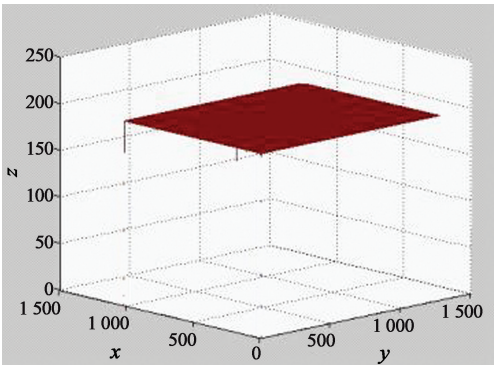


图 7 放大倍率 0.7 图像中值滤波后的三维图
Fig. 7 Three dimensional picture of image median filtering at 0.7×

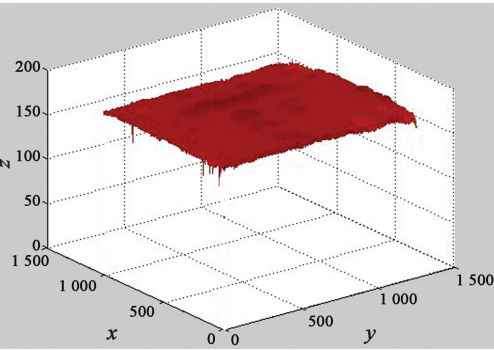


图 8 放大倍率 4.5 图像中值滤波后的三维图
Fig. 8 Three dimensional picture of image median filtering at 4.5×

在放大倍率为 0.7,亮度级别为 240 时,所采集图像经处理后,显示三维图如图 7 所示。

在放大倍率为 4.5,亮度级别为 240 时,所采集图像经处理后,显示三维图如图 8 所示。

以此类推,在同一倍率下,调整亮度级别采集图像,研究图像均匀性,实验数据如表 3 所示。

表 3 采集图像均匀性的结果

Tab. 3 Results of collected image uniformity

显微镜放大 倍率	光源亮度 级别	灰度值(最小值; 最大值)	图像 均匀性%
0.7	60	181;189	95.767 1
0.7	120	197;198	99.494 9
0.7	240	197;198	99.494 9
0.7	255	197;198	99.494 9
4.5	60	51;61	83.606 5
4.5	120	101;112	90.178 5
4.5	240	182;189	96.296 2
4.5	255	183;192	95.312 5

从表 3 中数据可知,在光学显微镜相同放大倍率的情况下,图像亮度随着数字信号的增大而增大,在 4.5 倍率时其图像亮度较倍率 0.7 有所下降,分析原因可能是由于在增加放大倍率的过程中,随着 CCD 摄像头的移动,使进入摄像头的光通量减少,导致图像变暗,同时在放大倍率增大时,由于导光毛玻璃本身的导光性能不佳,使所采集图像的均匀性变差。光照面均匀性符合设计要求,可满足显微影像测量需要。

6 结 论

设计了基于 PWM 的光源系统,完成了对均匀光源、LED 驱动电路、控制器程序的设计,实现了光源的均匀可调。系统稳定性好,测试数据有效,完全符合实际影像测量中的要求。实验系统在最小放大倍率 0.7 倍以及最大放大倍率 4.5 倍下,检测 4 个级别的光强均匀性都达到了 83%以上。实验结果证明,系统稳定可靠,可以广泛的用于实际影像测量。

参 考 文 献:

[1] 孔祥伟. 组合光源与图像处理算法在工件表面缺陷中的应用[D]. 天津:天津大学, 2007.
Kong X W. Combination of light source and image processing algorithms in the workpiece surface defects in the application [D]. Tianjin:Tianjin University, 2007. (in Chinese)

[2] 马祖怀. 大功率白光 LED 驱动研究以及驱动电路设计[D]. 西安:西安电子科技大学, 2011.
Ma Z H. High-power white LED driver and a driver circuit design research [D]. Xi'an: Xi'an Dian University, 2011. (in Chinese)

[3] 向健勇,戚勇,苟超. 分时驱动式 LED 显示屏图像串扰的解决方法[J]. 液晶与显示,2013, 28(3):398-402.
Xiang J Y, Qi Y, Gou C. Solution of image crosstalk time-sharing driver LED display [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2013, 28(3):398-402. (in Chinese)

[4] 汪晨. LED 显微镜均匀照明系统的设计[D]. 杭州:中国计量学院现代科技学院, 2010.
Wang C. The design of LED uniform illumination microscope system [D]. Hangzhou: Modern China Institute of Metrology Institute of Technology, 2010. (in Chinese)

[5] 杨光. 照明灯具中白光 LED 阵列的排列及配光[J]. 灯与照明,2008, 32(1):1-4.
Yang G. White LED array and light distribution in LED lamps [J]. *Lamps and Lighting*, 2008, 32 (1) :1-4. (in Chinese)

[6] 闫峰,孙文军,王淑英. LED 照明光场照度均匀性的研究[J]. 光学技术,2007, 33(增刊):327-328.
Yan F, Sun W J, Wang S Y. Study of illuminance uniformity for LED illumination light field [J]. *Optical Technique*, 2007, 33 (Suppl) :327-328. (in Chinese)

[7] 李壮辉,朱清慧,任拥伟. 液晶显示应用控制系统设计与实现[J]. 液晶与显示,2013, 28(6):889-894.
Li Z H, Zhu Q H, Ren Y W. Design and implementation of liquid crystal display application control system [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2013, 28(6):889-894. (in Chinese)

[8] 李晓寒, 何华平. 驱动白光 LED 技术综述[J]. 中国照明电器, 2010(9):9-11.
Li X H, He H P. Overview on the technology of driving white LED [J]. *China Light and Lighting*, 2010 (9) :9-11. (in Chinese)

[9] 杨虎, 刘琼荪, 钟波. 数理统计[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
Yang H, Liu Q S, Zhong B. *Mathematical Statistics* [M]. Beijing: Higher Education Press, 2004. (in Chinese)

[10] 郭强, 刘志峰, 张爱平, 等. 基于 STC89C52 单片机的智能交通系统设计[J]. 机电一体化, 2008(11):85-92.
Guo Q, Liu Z F, Zhang A P, *et al.* Design of traffic lights control module based on STC89C52 [J]. *Mechatronics*, 2008 (11):85-92. (in Chinese)

[11] 白林, 黄力, 宋冬梅, 等. 太阳能 LED 路灯智能控制系统电力控制与负载驱动[J]. 发光学报, 2009, 30(6):892-897.
Bai L, Huang L, Song D M, *et al.* Intelligent control of electric power and load in LED streetlamp system driven by solar power [J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2009, 30(6):892-897. (in Chinese)

作者简介:范伟军(1973—),男,湖南隆回人,副教授,博士,主要研究方向为图像处理与模式识别、汽车零部件检测。E-mail: fwj@ cjlu. edu. cn

张浩(1989—),男,安徽安庆人,硕士研究生,主要研究方向:基于机器视觉的汽车零部件缺陷检测。