

用于光学定位的近红外 LED 筛选检测系统设计

史风栋¹, 刘文皓², 史屹君², 李 键³

(1. 天津工业大学 工程训练国家级实验教学示范中心, 天津 300387;
2. 天津可宏振星科技有限公司, 天津 300192; 3. 北方技术交易市场, 天津 300192)

摘要: 光学定位技术在手术导航、目标追踪和虚拟现实等系统中都有广泛的应用, 为了提高定位的精度, 在信号测量和定位算法方面都进行了大量的研究。设计的系统从作为发光源的近红外 LED 出发, 通过有针对性的筛选, 为保证光学定位的准确性创造良好的条件。筛选检测系统由光学性能检测部分和高低温试验部分组成。通过控制转台中俯仰轴和滚动轴的转动角度, 使用光电探测器可以连续测量出发光元件的辐射强度, 得到近红外 LED 不同旋转面和不同纵向角度的辐射特性, 并计算出半功率角值。根据发光强度和半功率角这两个重要指标, 先去除待选组中有明显变化的极值数据, 然后选取两个相对偏差都在 $\pm 5\%$ 以内的近红外 LED, 最后对其进行高低温冲击试验。筛选出的近红外 LED 性能稳定, 发光一致性好, 可以成组使用。

关键词: 近红外 LED; 光学定位; 辐射强度; 相对偏差

中图分类号: TP23 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3788/IRLA201948.S117012

Design of screening and detection system for near infrared LED on optical positioning

Shi Fengdong¹, Liu Wenhao², Shi Yijun², Li Jian³

(1. National Demonstration Center for Experimental Engineering Training Education, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China; 2. Tianjin Bright Star Technology Co., LTD, Tianjin 300192, China;
3. Northern Technology Exchange Market, Tianjin 300192, China)

Abstract: Optical positioning technology has been widely used in surgical navigation, target tracking and virtual reality systems, in order to improve the accuracy of positioning, many research work has been done on signal measurement and localization algorithms. Using this system, the quality of the light source used for optical positioning was improved by screening near-infrared LED, and the good conditions were created for accurate positioning. The screening detection system consisted of an optical performance detecting section and a high and low temperature testing section. By controlling the rotation angles of the pitch axis and the rolling axis in the turntable, the radiation intensity of the light-emitting elements could be continuously measured by photodetector, the radiation data of near-infrared LED at different rotating faces and different longitudinal angles was obtained, and the half power angle value could be calculated. According to the two important indicators of luminous intensity and half power angle, first, the extreme

收稿日期: 2018-11-01; 修订日期: 2018-12-14

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFB1103604); 天津市自然科学基金面上项目(17JCYBJC18500)

作者简介: 史风栋(1977-), 男, 高级实验师, 硕士, 主要从事信号检测与控制方面的研究。Email:ss.sfd@163.com

value data is removed from the selected group; and then two near-infrared LEDs with relative deviation within $\pm 5\%$ were selected; and finally the high-low temperature impact test was performed. The selected near-infrared LEDs have stable performance and good luminous consistency, and can be used in groups.

Key words: near-infrared LED; optical positioning; radiation intensity; relative deviation

0 引言

发光二极管(LED)是一种能将电能转化为光能的半导体电子元件,以其亮度高、功耗低、寿命长、可靠性高、节能环保等优势逐渐替代传统光源,成为最佳的发光源之一。LED使用冷发光技术,发热量比同等功率的普通照明灯具低得多,这也是它辐射能量高的原因。LED技术在国民的生产和生活中发挥着非常重要的作用,其主要应用有照明、显示屏、信号指示和光源等,这些技术绝大部分是利用LED发出的可见光,例如照明主要利用发出的白光。LED不仅能发出可见光,还能发出在可见光谱之外的光,如近红外光,近红外LED具有体积小、功耗低、指向性好等一系列优点,被广泛用于遥控、遥测、光电控制、疾病治疗、目标跟踪等系统^[1]。

此文所研究的是用于光学定位发光源的近红外LED,它主要用作摄像机拍摄时的参照点,摄像机不动,发光源随被测物体一起移动。采用近红外摄像机拍摄近红外LED发光源所得到的图像能比较好地滤除现实背景和外界光源的干扰,减少图像特征点的提取和计算工作量,增强光学定位系统的抗干扰能力^[2-4]。将近红外LED作为发光源应用于光学定位的技术在许多专业领域中都有广泛应用,例如手术导航定位系统、平面靶标的标定系统、飞行员头盔瞄准系统等,取得了比较好的效果^[5-7]。在这些应用中,LED发光源的选择是非常关键的,需要经过专门的测试仪器进行检测和筛选,否则可能出现拍摄图像质量不高、一致性差和性能不稳定的现象,影响定位的精度,所以要达到好的定位效果,近红外LED的检测设备和筛选工作都是十分必要的。

1 LED作为光学定位发光源的影响因素

在标定试验和系统实际应用过程中,都是使用红外LED作为标志点,因此,选择发光稳定、发散角

大、光强对称性好的近红外LED对于提高标定精度和三维空间定位精度都具有很重要的意义^[8]。影响近红外LED作为光学定位发光源的主要因素有:

(1) 峰值波长,与光辐射最强处相对应的波长为峰值波长。常见的红外LED的峰值波长范围是830~950 nm,一般选择940 nm。峰值波长小的红外LED,其波长离可见光的上限波长较近,在使用时用肉眼会观察到暗红色,透光率低,而940 nm波长的红外LED透光性能相对较好,且应用广泛、成本较低^[9]。

(2) 辐射强度,发射管发射红外线光的单位立体角辐射出的光功率的大小,与输入电流成正比,与发射距离成反比。

(3) 半功率角,LED的发光强度会随着角度的偏离而减弱,沿法线方向辐射时最强,当光强减弱到沿法线方向的一半时,此方向与法线的夹角即为半功率角,通常半功率角是对称的。在光学定位中,往往会选择半功率角较大的发射管,这样摄像机的可拍摄范围相对较大^[10-11]。

(4) 温度特性,LED比较容易受到温度的影响,PN结的电压会随温度的上升而下降,在红外光学系统中,温度对折射率的影响也比较明显。

2 近红外LED筛选检测系统

2.1 筛选检测系统构建

近红外LED筛选检测系统是以红外光学定位的功能实现为基础,以提高定位的精度为目的,从近红外发光源器件出发来保证定位的准确性。针对制作光学定位设备的特定领域,近红外LED筛选检测系统原理如图1所示。

筛选检测系统由光学检测平台和温度试验平台组成,使用工业控制计算机进行控制、数据采集和分析,并给出筛选结果。光学检测平台的主要功能是检测近红外LED的辐射强度,测量出它在不同角度时的能量辐射情况,并得到半功率角的值。温度试验平台用来检测经过高低温冲击试验后的近红外LED

的工作状态。近红外光学检测平台是筛选检测系统的核心,其结构如图 2 所示。

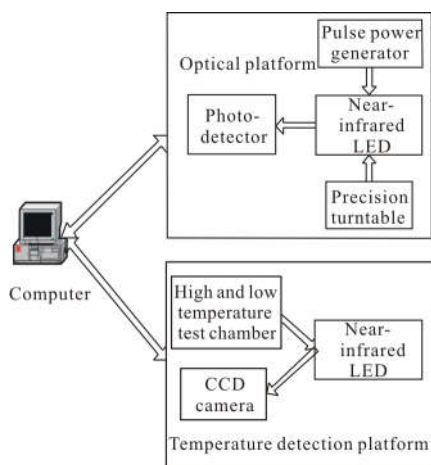


图 1 近红外 LED 筛选检测系统原理框图

Fig.1 Schematic diagram of screening and detection system for near-infrared LED

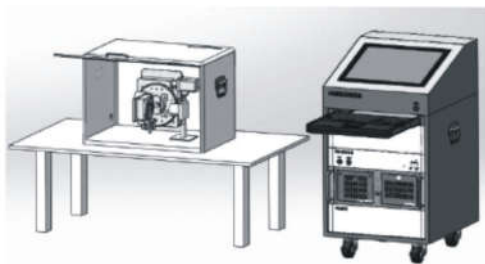


图 2 近红外 LED 光学检测平台

Fig.2 Near-infrared LED optical detection platform

2.2 测量 LED 辐射强度的“光学”平台

“光学”平台中采用光电探测器来测量近红外 LED 辐射出能量的强度^[12]。光电探测器也称光功率计,选用 Gentech 光电公司生产的 XLP 系列光电探测器,探测范围 350~1 050 nm,探测强度 0~3 W,探测精度 0.5 mW,重复精度 1%,其体积适中、性能稳定^[13]。探测器被固定于光学平台上,面向转台,接收轴心与转台轴心重合,即光功率计始终正向面对被测 LED。测试时,光功率计连续采集探测到的光强度信号,并将其转换为数字信息传输给主机。

系统为平台提供两种电源,分别是直流电源和脉冲电源,根据不同的试验项目,可以通过切换开关选择不同的电源为 LED 进行供电。

2.3 LED 的发光角度测量

“光学”平台包含了两轴转台、LED 夹具、光功

率探测器、遮光罩等部分,可以根据试验指令自动对待测的 LED 进行相关试验动作以及数据采集。

转台有俯仰和滚动两个轴:俯仰轴的角度是绝对值角度,通过俯仰轴的转动可以改变 LED 面对探测器的角度;滚动轴为相对值角度,通过改变滚动轴角度可以切换 LED 面对探测器的不同侧面。转台安装在基板上,由电脑控制转动的角度,同时转台转动的角度信息能实时反馈给电脑,保证了旋转角度的准确性。测试完一个俯仰动作后,可以通过设备的滚动轴使 LED 沿法线方向旋转,对该 LED 的另一个侧面进行辐射角度连续测试,从而提高试验结果的可靠性。

通过控制“光学”平台中俯仰轴和滚动轴的变化,可以连续测量发光元件的辐射强度,得到近红外 LED 不同旋转面的纵向角度辐射特性,并计算出半功率角,辐射特性曲线如图 3 所示。

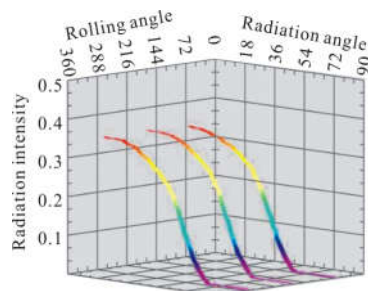


图 3 近红外 LED 辐射特性曲线

Fig.3 Radiation characteristic curve of near-infrared LED

2.4 高低温冲击对近红外 LED 发光源影响的检测

为了保证 LED 工作时有良好的性能,需要对其进行 -55~150 °C 的高低温热冲击试验,通过观察发光亮度是否有明显变化来判断是否符合要求^[14]。在试验箱中放置特制的夹具,可同时对 54 只近红外 LED 进行温度冲击测试。虽然试验箱设有透明视窗,但由于待测的 LED 为红外不可见光源,操作人员无法用肉眼直接观测到 LED 的工作状态,所以采用能感知红外光谱的 CCD 摄像机进行观测。试验时,待测的 LED 位于试验箱透明视窗的正后方,CCD 摄像机安装在视窗前的三脚架上,操作人员可以通过与摄像机连接的监视器对试验箱内部的 LED 发光状态进行观察,同时也可以保存不同时刻的图像数据,方便查询和分析。

选取两组近红外 LED, 经高低温冲击试验后的发光情况如图 4 所示, 其中 B 组的第 4 只亮度变暗, 不符合要求, 其余亮度正常, 符合要求。



图 4 高低温试验后的近红外 LED 发光图

Fig.4 Near-infrared LED illumination photo after temperature test

3 筛选方法

在光学定位的应用中一般使用 3~5 只近红外 LED 作为发光源, 要求亮度一致性好, 并且在观测角度发生变化时发光强度的变化也比较均匀。使用“光学平台”进行试验可以得到近红外 LED 筛选检测系统中的最重要的两个筛选指标, 发光强度(即沿法线方向的辐射强度)和半功率角的数值。

将测得的同一批次近红外 LED 的发光强度表示为 $X(n)$, 半功率角表示为 $Y(n)$, 下面根据数据的特征来进行筛选。

(1) 将数据中变化明显的极值去除, 在以后的数据处理中不予考虑, 然后对剩下的数据取平均值, 平均值能反映一组数据的特征。

$$\mu = 1/n \sum_{i=0}^n x_i \quad (1)$$

(2) 在公式(1)的基础上计算绝对偏差和相对偏差。一般用它们来衡量测试结果的稳定性大小, 对于近红外 LED 来说, 偏差越大一致性就越差。相对偏差用来衡量单次测量结果对平均值的偏离程度, 是无量纲的, 可以比较好地应用于相对数据的筛选。

$$a = |x_i - \mu| \quad (2)$$

$$b = a/\mu \times 100\% \quad (3)$$

试验中的一批待筛选的 LED 数据在去除极值后见表 1。 $X(n)$ 和 $Y(n)$ 经过公式(1)~(3)处理后得到相对偏差值, 如图 5 和图 6 所示。

表 1 近红外 LED 发光强度和半功率角数据

Tab.1 Light intensity data and half power angle data of near-infrared LED

Number	Light intensity/mW	Half power angle/(°)	Number	Light intensity/mW	Half power angle/(°)	Number	Light intensity/mW	Half power angle/(°)
1	0.335 364 77	44.377 777 193 882	8	0.323 255 41	44.846 793 463 356 8	15	0.411 65 777	44.441 370 002 479
2	0.284 74 885	48.513 456 299 907 8	9	0.296 140 31	46.513 982 680 307 6	16	0.358 301 37	52.084 037 267 433 8
3	0.315 869 05	46.243 522 118 177 6	10	0.320 328 95	45.371 139 775 035 7	17	0.333 192 19	47.840 480 469 337 5
4	0.317 580 35	46.500 714 731 788 7	11	0.303 823 03	46.628 269 713 247 2	18	0.348 269 18	38.683 881 485 094 7
5	0.349 019 23	44.597 934 141 498	12	0.372 789 11	47.400 648 406 942 8	19	0.366 625 24	36.977 535 447 729 9
6	0.343 602 53	46.798 264 717 633 1	13	0.365 270 62	44.915 581 451 410 2	20	0.398 352 959 719 8	48.953 549 471 047 8
7	0.345 197 36	47.771 974 683 076 7	14	0.355 894 95	48.061 082 375 743 9	21	0.359 894 95	49.061 082 375 743 9

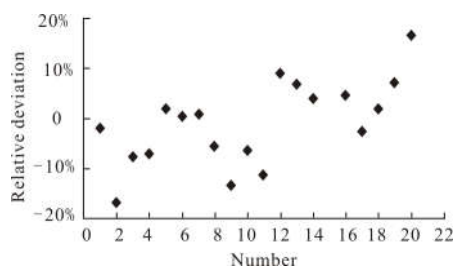


图 5 发光强度的相对偏差分布图

Fig.5 Relative deviation distribution diagram of light intensity

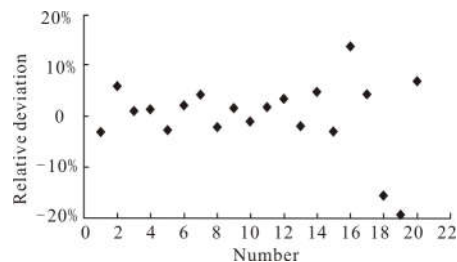


图 6 半功率角的相对偏差分布图

Fig.6 Relative deviation distribution diagram of half power angle

(3) 根据实际应用的经验,选取发光强度 $X(n)$ 和半功率角 $Y(n)$ 的相对偏差都在 $\pm 5\%$ 以内的近红外 LED,

能够保证具有比较好的一致性。经过筛选,符合要求的数据共有 6 个,见表 2。

表 2 筛选后的近红外 LED 数据

Tab.2 Filtered data of near-infrared LED

Number	Light intensity/mW	Half power angle/(°)	Number	Light intensity/mW	Half power angle/(°)	Number	Light intensity/mW	Half power angle/(°)
1	0.335 364 77	44.377 777 193 882	6	0.343 602 53	46.798 264 717 633 1	14	0.355 894 95	48.061 082 375 743 9
5	0.349 019 23	44.597 934 141 498	7	0.345 197 36	47.771 974 683 076 7	17	0.333 192 19	47.840 480 469 337 5

(4) 将筛选出的近红外 LED 放入温度试验箱内,经过高低温冲击试验后观察其发光亮度的影像,如果没有出现明显的亮度不一致现象,就可以作为合格的一组选出。

4 结论

文中针对光学定位中使用的发光器件设计了筛选检测系统,从光学特性和温度环境两个方面进行检测。系统使用高精度的光电探测器测量 LED 发光时的辐射强度,工控主机通过控制安装在转台上的俯仰轴和滚动轴的转动来使 LED 相对探测器处于不同侧面和不同角度,并进行自动连续的辐射强度测量。根据测得的发光强度和半功率角的数据对组中待选元件进行筛选,在去除极值的基础上选取两种数据的相对偏差都在 $\pm 5\%$ 以内的近红外 LED,经高低温冲击检验合格后可以成组使用。经过筛选的近红外 LED 性能稳定、发光一致性好,非常符合光学定位发光源的要求。

随着光学定位技术的广泛应用和进一步发展,也会对发光源提出新的要求,筛选检测系统可以根据实际要求进行部分更改,即可满足绝大多数的检测需求。

参考文献:

[1] Liu Hongxing, Ren Jianwei, Li Xiansheng, et al. Screening of LED for spectrum-tunable light source[J]. *Journal of Applied Optics*, 2013, 34(1): 56-61. (in Chinese)

[2] Ye Zhao, Ren Jianwei, Li Xiansheng, et al. Screening device for LED as spaceborne calibration light source [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2012, 20(1): 64-71. (in Chinese)

[3] Wu Jiabin, Chen Yunshan, Gao Shijie, et al. High precision spot position detection model for the near infrared light [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2016, 45(7): 0717001. (in Chinese)

[4] Xiu Jingrui, Hu Siyi, Li Jinhua, et al. Construction and application of FRET biological probe based on near infrared InP/ZnS quantum dots[J]. *Chinese Optics*, 2018, 11(1): 74-

82. (in Chinese)

[5] Huang Liqiong, Zhou Liyong, Shang Tingting. Integration tracking techniques of Helmet based on image and inertia [J]. *Fire Control & Command Control*, 2017, 42 (8): 179-182. (in Chinese)

[6] Chen Guodong, Jia Peifa, Wang Rongjun. Space registration and practice of a brain surgery robot based on optical localization[J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2007, 28 (3): 499-503. (in Chinese)

[7] Tang Yong, Gu Hongbin, Zhang Congzhe. High accurate optical head pose tracker system[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2013, 21(2): 488-495. (in Chinese)

[8] Xing Xiaoxue, Wang Xianwei, Qin Hongwu, et al. CH₄ detection based on near-infrared luminescence of PbSe quantum dots[J]. *Chinese Optics*, 2018, 11(4): 662-668. (in Chinese)

[9] Li Bo, Xu Xiaoting, Zheng Xueqing. Study on fat measurement by near infrared spectroscopy [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2018, 47(S1): S104003.

[10] Chen Yong, Shen Qixiang, Liu Huanlin. Optimization algorithm of receiver optical power uniformity in indoor visible light communication [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2018, 45 (5): 0506003. (in Chinese)

[11] Chen Hang, Zhang Yuexia. Research on VLC hybrid indoor location algorithm based on LED SAHP [J]. *Measurement & Control Technology*, 2017, 36(10):7-10. (in Chinese)

[12] Zhao Weiqiang, Liu Hui, Liu Jian. Study on nonlinearity coefficient measurement for optical detector using infrared LED [J]. *Acta Optica Sinica*, 2015, 35(9): 0912002. (in Chinese)

[13] Wang Qilong, Li Yupei, Zhai Yusheng, et al. The progress of surface plasmon enhanced near-infrared photodetector based on metal/Si Schottky heterojunction [J/OL]. *Infrared and Laser Engineering* (2018-10-31). <http://kns.cnki.net/kcms/detail/12.1261.TN.20181029.1018.058.html>. (in Chinese)

[14] Xing Yanqiu. Optimization design and test of the main structure of a mini-optical device in space [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2018, 47(11): 1113002. (in Chinese)