

激光与可见光系统光轴平行性检测

丁振勇^{1,2}, 叶 露¹, 沈相衡¹

(1.中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2.中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要:介绍了一种利用 CCD 器件测量激光测距系统与可见光系统光轴平行性的检测方法。通过精密调整 CCD 靶面中心与十字分划板中心的共轭关系,使两者同在光轴上,形成同一测量基准。测量时,被检仪器可见光系统视场中心对准十字分划板中心,激光测距机发出的激光束汇聚到 CCD 靶面上,通过测量激光光斑偏离靶面中心的量计算出光轴的平行性误差。简要介绍了激光光斑重心的算法,通过对光斑图像的预处理,提高重心的计算精度。最终通过实验验证了该方案的准确性,测量精度达到 5"。

关键词:光轴平行性; 激光光斑重心; 激光测距机; 可见光学系统; CCD

中图分类号:TN24 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-2276(2008)05-0890-04

Detection method of parallelism of optic axes between laser and visible optical systems

DING Zhen-yong^{1,2}, YE Lu¹, SHEN Xiang-heng¹

(1.Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;

2.Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract:A measurement method for the parallelism of optic axes between laser range finder and visible optical system by means of CCD was introduced. Through accurate adjustment of the conjugate relation of the centers of CCD target surface and reticule, both was aligned on the same optic axis and form a measurement datum line. During measurement, the field-of-view center of visible optical system of the tested instrument was aligned at the reticule center. The laser beam from a laser range finder was focused on the CCD target surface. By measurement of the deviation of the laser focusing spot from the center of the target surface, the parallel error between the two optic axes could be calculated. The algorithm for computation of the centroid of laser focusing spot was briefly introduced. Computation precision of the centroid was improved by means of pre-processing the acquired spot image. The scheme was verified experimentally. Its measurement accuracy can reach 5".

Key words:Parallelism of optic axes; Barycenter of laser spot; Laser range finder;
Visible optical system; CCD

0 引 言

在光电跟踪测量设备上,通常都同时配有可见、红外及激光测距等多个光学系统,目的是使光电测量

设备具备多谱段的探测能力,功能更强大。为了完成对目标的探测和测量任务,关键的因素是使各类成像光学系统与激光测距系统的光轴严格平行,保持相同的指向,以保证光电跟踪测量设备各系统间测量结果

收稿日期:2007-12-15; 修订日期:2008-01-10

作者简介:丁振勇(1981-),男,江苏盐城人,硕士,研究方向为光学仪器检测原理及方法。Email:tington21@msn.com

导师简介:叶露(1965-),女,吉林长春人,副研究员,硕士,主要从事光电测控设备光轴平行度检测方法的研究及静、动态角标定装置的研究。

的一致性 & 准确性。因此需要对各光学系统光轴之间的平行性进行检验。

近几年来,对激光测距系统光轴与其他光学系统光轴平行性的测量方法作了许多探讨,如远距离目标野外测量法、激光相纸检测法及热效应靶测量法^[1-3]。野外试验法通过激光回波的有无判断激光系统光轴,精度并不理想。相纸法首先将可见光系统中心对准放置在检测装置焦面上的激光相纸的十字分划中心,再发射激光,通过测量相纸上记录的激光光斑中心与十字分划中心的偏移距离,计算出激光系统与可见光系统的光轴平行性误差。该方法的缺点为相纸经过激光照射曝光后需要重新更换,无法实现实时检测。我所前几年研制成功了基于热靶技术的同轴校正仪,通过热靶将激光光斑转换为红外热点,可实现激光与红外系统的平行性检测,但无法实现激光与可见光系统的平行性检测,且平行性误差的判读须利用被检测设备本身。近年来采用 CCD 直接对激光进行采集、检测的技术日益发展,解决了检测的自动化问题^[4-6]。文中在同轴校正仪基础之上,利用 CCD 替换热靶,对激光与可见光系统的光轴平行性测试方法进行了一些研究与改进。

1 检测装置设计与原理

1.1 检测装置的结构

检测装置结构如图 1 所示,主要由分划板、CCD、半透半反镜、准直系统、分光光路组成,其中分划板后带有照明灯泡,CCD 后连接着图像采集卡与计算机。

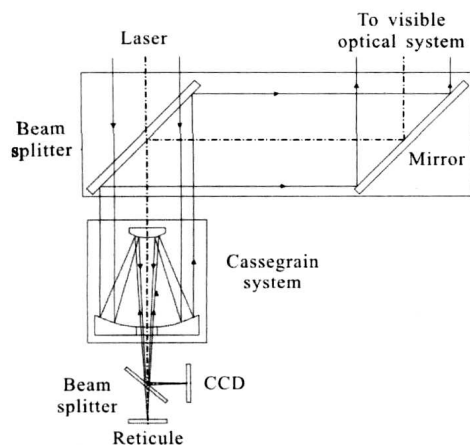


图 1 仪器结构图

Fig.1 Configuration of the equipment

十字分划板置于准直系统的焦面上,在分划板前放置半反半透镜,反射激光到放置了 CCD 接收器的另一共轭焦面上,用以检测激光与基准光轴的偏差。

十字分划板采用自准直法装调至准直系统的焦面上,并使返回像与目标重合,此时调整 CCD,使十字分划板清晰成像于 CCD 靶面中心。此时十字分划板中心与 CCD 靶面中心都位于准直系统的光轴上,形成同一基准。检测装置正是利用这一基准,进行被检测设备激光与可见光系统光轴平行性的检测。

考虑到双波长的工作需要,准直系统采用无色差的卡赛格林反射式光管,由一片抛物面镜与一片双曲面镜组成,结构简单轻便。

分光光路由两块严格平行的平面镜组成,它的作用是将准直光路所提供的基准目标进行无偏平移后,提供给被检测设备的可见光系统,用非常经济的办法替代大口径平行光管,实现较大距离跨度的激光与可见光系统平行性检测。安置在准直光路前的平面镜也为一块半透半反镜,其反射光路用于转折可见光,透射光路用作激光的入射,该镜具有较高的反射率,可有效衰减激光,使激光强度降低到 CCD 正常工作范围之内。

激光束经过准直系统汇聚后形成的光斑被 CCD 的光敏面接收,CCD 将光斑图像转换为按光强分布的视频信号并输出到采集卡,最终在计算机上进行图像的记录和后续处理。本试验中图像采集卡采用 Matrox 公司的 CronosPlus,8 位 A/D 精度,采集分辨率为 768×576,CCD 为 Watec 公司生产的 wat-902h 型黑白 CCD,主要参数:有效像素 752×582,像元大小 8.6 μm×8.3 μm,通过实际检验,该 CCD 光谱响应范围为 500~1 150 nm,可接收 1 064 nm 波长的激光。

1.2 检测原理与方法

将被检测设备安置在检测装置前,激光发射窗对准激光入射窗,可见光系统对准分光光路的可见光出口,并将可见光系统的视场中心瞄准检测装置的十字分划板中心,完成被检测设备可见光系统光轴与检测装置基准光轴的对准。最后,操作激光器发射激光,此时可以在计算机上采集并记录激光光斑。

利用计算机对采集到的光斑图像进行处理,由于激光光斑的中心偏离 CCD 靶面中心的量是由两光轴的平行性误差引起的,测量出这个偏离量,即可得到两光轴的平行性误差。

由激光中心的一阶矩定义^[4],将按照光束的功率密度分布求出的“重心”作为其光束中心。设激光横截面的功率密度分布为 $P(x,y)$,则重心坐标的表达式为:

$$\begin{cases} x_0 = \frac{\int \int xP(x,y)dx dy}{\int \int P(x,y)dx dy} \\ y_0 = \frac{\int \int yP(x,y)dx dy}{\int \int P(x,y)dx dy} \end{cases} \quad (1)$$

由于实际采集到的数字图像所包含的信息是与功率密度分布相对应的光强分布,最终表现为图像中离散的各个像元的灰度值,公式需改为:

$$\begin{cases} x_0 = \frac{\sum xI(x,y)}{\sum I(x,y)} \\ y_0 = \frac{\sum yI(x,y)}{\sum I(x,y)} \end{cases} \quad (2)$$

式中: x 为像元的水平坐标; y 为垂直坐标; $I(x,y)$ 为像元的灰度值。

设通过公式计算得到的激光光斑重心坐标为 (x_1, y_1) , CCD 的中心坐标为 (x_2, y_2) ,则两者在 CCD 上的距离为:

$$d = \sqrt{d_x(x_1 - x_2)^2 + d_y(y_1 - y_2)^2} \quad (3)$$

式中: d_x 为图像水平方向上每个像素的间距; d_y 为垂直方向的间距。

由于 CCD 与分划板为共轭,且 CCD 电十字分划与分划板的十字分划严格对准,该距离相当于激光光斑重心和分划板中心的偏移距离,已知准直系统焦距为 f ,则激光系统与检测装置基准光轴的夹角为:

$$\theta = \arctan \frac{d}{f} \quad (4)$$

由于被检设备可见光系统与检测装置基准光轴之前已对准,此夹角同时也是被检设备的激光系统与可见光系统的光轴夹角。

2 激光光斑图像的预处理

测距用激光波长一般为 1 064 nm,而 CCD 在此波段下响应度很低,进入 CCD 的微弱杂光都会将激光光斑湮没在背景之中,在 CCD 前加装中心波长为 1 064 nm 的窄带滤波片可以很好地解决杂光问题。此时,由于 CCD 背景较暗,有较高的增益,造成图像

具有较高的本底噪声,即暗背景具有较高的灰度值,同时随机噪声点也增多,这样的图片直接用公式计算会造成计算结果向中心靠近,因此有必要对图像进行预先处理。

第一步,对图像进行背景相减,将采集到的光斑图像与相邻时刻的无光斑图像进行对应像素的灰度值相减,在经过此步处理后,图像的背景灰度得到很好的降低,暗区大部分的像素灰度接近零值,但仍有部分点灰度值较高,这些噪点是由 CCD 的随机噪声引起的。

第二步,对处理后的图像再进行阈值变换,通过设定合适的阈值,将灰度值低于该阈值的像素灰度置为零,该变换可有效消除图像中由 CCD 产生的随机噪声点,进一步消除了背景噪声对重心计算的影响。

在实验中,这两步图像预处理有效提高了重心计算结果的精度。

3 实验结果与误差分析

实验利用激光器(波长 1 064 nm)模拟激光测距系统,并在激光器上安置平面镜,利用自准直仪监视记录激光器光轴晃动量作为真值,用以检验该方案对激光器光轴偏差的测试精度,数据处理得到的偏差值与真值对比见表 1。

表 1 计算结果与真值对比

Tab.1 Comparison of calculation result and truth value

	x_i	$\Delta x(x_i - x_{i-1})$	$\Delta \theta_c$	$\Delta \theta$
1	280			
2	288	8	27.9	30.2
3	291	3	10.5	8.3
4	297	6	20.9	23.4
5	298	1	3.5	3.2

其中, x_i 为计算得到的重心水平坐标, Δx 为重心水平坐标的变化值, $\Delta \theta_c$ 为计算得到的激光光轴水平偏移量, $\Delta \theta$ 为由自准直仪测量得到的光轴水平偏移量,由表 1 可看出,由计算得到的光轴偏差 $\Delta \theta_c$ 与实际光轴偏差 $\Delta \theta$ 基本吻合。

对于重心法的重复精度,对同一位置采集的多幅图片进行处理,其重心计算结果是一致的。

该对比证明重心算法具有较好的稳定性,重复精度高。通过计算结果与真值的对比,激光重心处理结果与真值误差在一个像素内(3.5")。

此外,还存在 CCD 与分划板的装调误差,也在一个像素内(3.5'')。两平面镜装调误差 1'',由此带来的基准光轴偏差最大为 2''。被检设备可见光系统与检测装置基准光轴的对准误差 1''。各项误差按随机分布,总的系统偏差为:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \sigma_4^2} \approx 5.2'' \quad (5)$$

4 结 论

实现了利用 CCD 进行激光与可见光系统的光轴平行性检测。通过精密调整分划板与 CCD 的位置,使分划板中心与 CCD 中心处于同一基准上。分划板用于对准被检设备可见光系统光轴,CCD 用于接收激光,输出图像后通过处理给出激光系统与基准光轴的偏差,从而检测出被检设备激光与可见光系统的光轴平行性误差。若将分划板改为星点,则此设备能用于激光与红外系统平行性误差检测。下一步的工作是进一步研究平行性测试方法,最终实现激光、可见光与红外多系统的平行性测试。

参考文献:

- [1] FAN Dong, WANG Yue -feng, CHEN Xi. Field test method about optical axis parallelism of multi axial system[J]. **Journal of Applied Optics**(樊东,汪岳峰,陈曦.多光轴光学系统光轴

平行度野外试验方法.应用光学),2002,23(5):46-48.

- [2] ZHAN Qi -hai, CHANG Ben -kang, FU Rong -guo. Optical axes boresight instrument for multispectral optical system [J]. **Journal of Applied Optics**(詹启海,常本康,富容国.多光谱光学系统光轴平行性组合测试装置.应用光学),2005,26(5):4-6.
- [3] YE Lu, SHEN Xiang -heng, LIU Ze -xun. Boresight between laser rangefinder and IR sensor [J]. **Journal of Applied Optics**(叶露,沈湘衡,刘则洵.强激光与红外光学系统光轴平行性检测方法的探讨.应用光学),2007,28(6):25-29.
- [4] CHEN Zhi -bin, LI Yi -zhao, WANG Cheng -yang. Laser spot and it's optic axis collimation detection method for laser range finder [J]. **Infrared and Laser Engineering(Supply)**(陈志斌,李义照,王呈阳.激光测距机光斑及其光轴平行性检测方法研究.红外与激光工程),2007,36(增):261-264.
- [5] FU Rong -guo, CHANG Ben -kang, LIU Shu -rong. Analysis of the facula center of the 1.06 μm laser with computer [J]. **Optoelectronic Technology & Information**(富容国,常本康,刘淑荣.1.06 μm 激光光斑中心的计算机分析.光电子技术与信息),2004,17(2):26-29.
- [6] SUN Ai -xian, WANG Jing, HE Heng -xiang, et al. Testing precision analysis of centrobaric of laser facula [J]. **Laser Technology**(孙爱鲜,王晶,何衡湘,等.激光光斑重心测试精度理论分析.激光技术),2004,29(6):667-669.
- [7] LI Jun -chang. **Calculation for Diffraction and Heat Interaction of Laser**[M]. Beijing: Science Press(李俊昌.激光的衍射及热作用计算.北京:科学出版社),2003.

(上接第 865 页)

验,可以得出增加光纤长度能够减小相位噪声,与前面的结论一致。比较实验和理论分析的结果可以得出,实验结果和理论分析基本一致,也证明了理论的正确性。

4 结 论

推导了光电振荡器的相位噪声的表达式,并研究了相位噪声的特性。分析表明,为了减小光电振荡器的相位噪声,需要增加环路的光纤延迟时间,减小小激光器的相对强度噪声和微波放大器的噪声系数。实验得到了输出频率约为 10.45 GHz 的微波信号,测量了光纤长度分别为 300、600 和 900 m 条件下的相位噪声。实验得到的结果与理论分析基本一致。

参考文献:

- [1] YUE Li, ZHAO Dan -feng, XU Jun. Analysis of phase noise

on OFDM system performance [J]. **Applied Science and Technology**(岳丽,赵旦峰,徐军.相位噪声对 OFDM 系统的影响分析.应用科技),2007,34(1):5-9.

- [2] YAO X S, MALEKI L. High frequency optical subcarrier generator [J]. **Electron Lett**, 1994, 30(18):1525-1526.
- [3] ELIYAHU D, SARIRI K, KAMRAN M, et al. Improving short and long term frequency stability of the optoelectronic oscillator [C]// **International Frequency Control Symposium and PDA Exhibition, IEEE**, 2002, 2002: 580-583.
- [4] JIANG Yang, YU Jin -long, WANG Yao -tian, et al. Optoelectronic oscillator for generating optical pulse and microwave signal [J]. **Infrared and Laser Engineering**(江阳,于晋龙,王耀天,等.基于光电振荡器的光脉冲和微波信号发生器.红外与激光工程),2007,36(5):667-670.
- [5] LIAO Feng -zhuo, ZHOU Tao. Theoretical analysis of optoelectronic microwave oscillator [J]. **Electronic Information Warfare Technology**(廖丰卓,周涛.微波光子振荡器及其理论分析.电子信息对抗技术),2007,22(1):41-44.
- [6] YAO X S, MALEKI L. Optoelectronic microwave oscillator [J]. **Opt Soc Am B**, 1996, 13(8):1725-1735.