

文章编号:1002-2082(2007)02-0205-04

激光光斑漂移的检测

王春阳, 李金石

(国防科技大学 光电科学与工程学院光电工程系,长沙 410073)

摘要: 针对激光光斑漂移设计了一套光斑漂移检测系统。利用该系统实现了对He-Ne激光器出射光束漂移的检测。它采用CCD摄像头和图像采集卡采集激光器输出光斑,通过专门软件对数字图像进行处理,得出光斑漂移的大小;另外,利用几何光学方法得到了激光光束在X方向、Y方向以及空间立体角上的漂移大小。分析了引起光束漂移的原因。结果表明:He-Ne激光器出射光束的指向主要受温度、环境振动、空气扰动和激光器自身结构的影响。该系统能准确地测量出激光器出射光束的漂移大小,实现光束漂移的控制。

关键词: He-Ne激光器; CCD摄像机; 光斑漂移; 图像处理

中图分类号:TN247

文献标志码:A

Detection of laser spot drift

WANG Chun-yang, Li Jin-shi

(College of Photoelectric Science and Engineering, National University
of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: A system for measuring the drift of laser spot is designed and the drift of a He-Ne laser beam is measured. With a CCD camera and a frame grabber to capture the laser spot, the digital image is transferred to special software for further processing, the amount of the laser spot drift can be achieved. The amount of the drift in X direction, Y direction and in spatial angle can be obtained through geometrical optics. The reason that causes the beam drift is analyzed. The result shows that the direction of the emergent beam from He-Ne laser is influenced mainly by temperature, vibration, air disturbance and laser structure. The system can accurately measure the laser beam drift and the control of the beam drift is implemented.

Key words: He-Ne Laser; CCD camera; laser spot drift; image processing

引言

激光光束由于其良好的单一方向性、高亮度及高稳定性等优点,常被作为测量基准广泛应用于超精密加工设备及测量设备中^[1]。但由于激光器受其本身的热变形、环境振动和空气扰动^[2]等因素的影响,出射的激光束在传播过程中常会产生漂移,限制了激光器准直^[3]精度的进一步提高,影响了其在实际中的运用。因此,有必要测出该偏移量,以便对其进行控制。为此,本文提出一个光斑检测系统,通

过接收并处理照射到CCD光敏面上的激光光斑,测算出其漂移,从而进一步得到激光光束在空间立体角上的漂移量。

1 检测原理

激光在谐振腔内振荡过程中,在光束横截面上形成具有各种不同形式的稳定分布,光强的这种稳定分布称为激光束的横向模式,简称横模。在柱对称系统中,高阶高斯光束的横向场分布函数可描述为

收稿日期:2006-05-12; 修回日期:2006-07-20

作者简介:王春阳(1980—),男,湖北当阳人,国防科技大学硕士研究生,主要从事光电检测与控制方面的研究工作。E-mail: Xingyun627@163.com

$$I(r, \varphi, z) = L_n^m(2r^2/\omega^2)e^{-r^2/\omega^2} \begin{cases} \cos m\varphi \\ \sin m\varphi \end{cases} \quad (1)$$

式中: (r, φ, z) 表示场点的柱坐标; $\omega = \omega(z)$; $L_n^m(2r^2/\omega^2)$ 为缔合拉盖尔多项式。

当激光照射到 CCD 光敏面上时也会形成一定的强度分布。通过 CCD 接后续图像处理系统^[4]对光敏面上激光光斑的 256 色灰度图进行数字图像处理, 求出该光斑的中心位置及光斑的漂移。以 CCD 光敏面上激光光斑的强度分布为研究对象, 选取一定的阈值, 并对阈值范围以内的像素点以求质心的方式求出光斑的中心位置。设光敏面上任意一像素点的位置为 p , 光强为 I , 则该光斑的中心位置可表示为

$$p_{\text{中心}} = \frac{\sum_i p_i I_i}{\sum_i I_i} \quad (2)$$

由此可知, 只要以一定的时间间隔连续不断地采集光敏面上光斑的图像, 通过(2)式, 便可求出它在不同时刻的中心位置, 从而检测出该激光光斑在光敏面内的漂移量 Δp 。最后根据几何光学方法即可求出激光光束在空间立体角上的漂移。设实际出射光束的方向与基准光轴方向的夹角为 θ , 激光器输出端到 CCD 光敏面的距离为 l , 则光束在空间立体角上的漂移为

$$\tan \theta = \Delta p / l \quad (3)$$

2 检测系统的构成

如图 1 所示, 检测系统由激光器、高反射率的衰减片、CCD 摄像机、图像采集处理器及计算机组成。

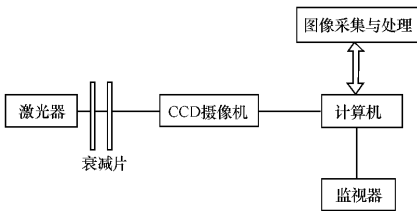


图 1 激光光斑检测系统的原理图

Fig. 1 Schematic diagram of measuring system for the laser spot

激光器发出的光束通过高反射率衰减片被衰减之后直接照射到 CCD 摄像机的光敏面上, CCD 光敏像元将其上的光强度转换成电荷量, 然后在一定的频率脉冲驱动下, 在 CCD 输出端可以获得被测对象的视频信号。视频信号中每一个离散电压信

号的大小对应于该光敏像元上图像的光强, 信号输出的时序对应于该光敏像元在 CCD 上的空间位置^[5]。该信号经图像采集卡采集, 所得数据被送入计算机中进行处理, 从而可求得光斑的漂移量。

通过编制软件可以对光斑进行实时采集和处理, 并在监视器中可很直观地看到光斑中心位置的变化和其漂移量的大小(如图 2 所示)。

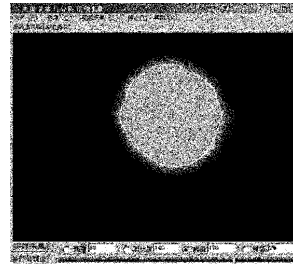


图 2(a) 光斑采集与分析软件的主页面

Fig. 2(a) Main page of laser spot collection and analysis software

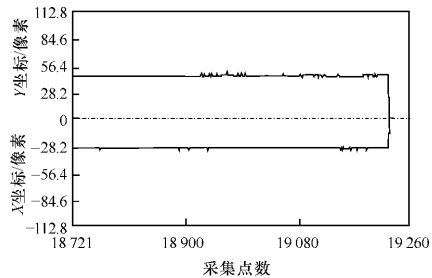


图 2(b) 光斑采集与分析软件绘图显示页面

Fig. 2(b) Drawing page of analysis software for laser spot collection

实验所用的 CCD 为 1.27 cm 黑白低照度高解析摄像机 MTV-1881EX, 其总像素为 795(水平) × 596(垂直)(CCIR 制式), 水平清晰度为 600 线, 像素尺寸为 8.6 μm × 8.3 μm。图像采集卡为 OK_MIOA 卡(是一种基于 PCI 总线的标准视频黑白图像采集卡), 其可直接采集格式为 8 位、24 位、32 位, 最大采集分辨率为 768 × 576 像素, 图像水平分辨达 600 线。

3 实验测试

实验采用自制的小型 He-Ne 激光器, 其额定功率为 4.0 mW, 额定电流为 6.0 mA。激光器输出端到 CCD 光敏面的距离为 0.69 m。在不同的条件下对该激光器进行多次测量, 测得的数据如图 3 所

示(激光器检测持续的时间为3 h)。图4是上述实验开始20 min,光斑趋于稳定后的检测数据。

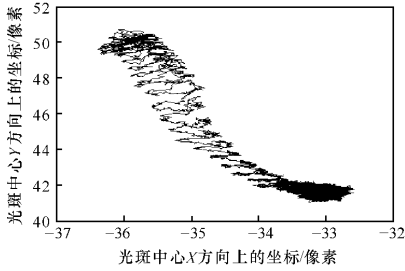


图3(a) 激光光斑中心位置随时间变化的轨迹

Fig. 3(a) Variation locus of laser spot center position drifting with time

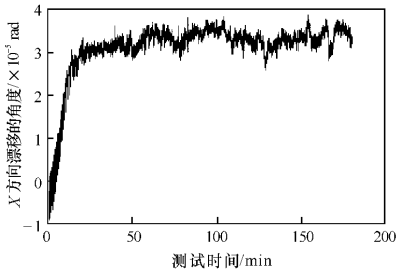


图3(b) 激光光束X方向上随时间变化的漂移量

Fig. 3(b) Solid-angle drift variation of laser in X direction beam with time

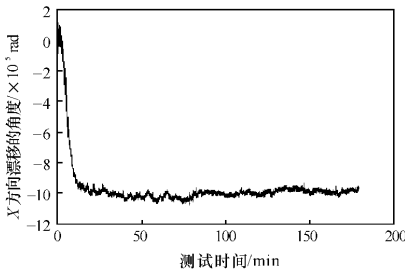


图3(c) 激光光束Y方向上随时间变化的漂移量

Fig. 3(c) Solid-angle drift variation of the laser beam in Y direction with time

由图可知,激光器刚开始工作时,由于温度及机械本身的影响,其光束是不稳定的,成像在CCD光敏面上的光斑会发生漂移,经过一段时间以后,激光器趋于稳定,光斑稳定在一个极小的范围之内。

通过计算可得到相对于刚开始位置激光光束X方向上的漂移 3.8890×10^{-5} rad及Y方向上的漂移 1.0607×10^{-4} rad。激光器工作约20 min后趋于稳定,此时激光光束的漂移范围很小,分别为

X方向: 8.5116×10^{-6} rad, Y方向: 7.6172×10^{-6} rad。同理,对该激光器进行多次检测,将所得到的几十组数据进行统计分析,就可得到一般情况下该激光器输出光束的最大漂移量。

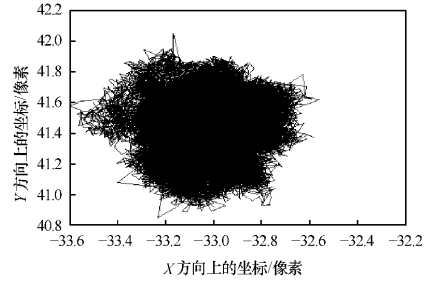


图4(a) 20 min以后光斑中心随时间变化的轨迹

Fig. 4(a) Variation locus of laser spot a center position drifting with time 20 minutes later after beginning

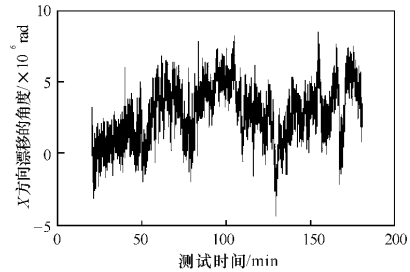


图4(b) 20 min后光束X方向上的漂移量

Fig. 4(b) The solid angle drift of laser beam in X direction 20 minutes later after beginning

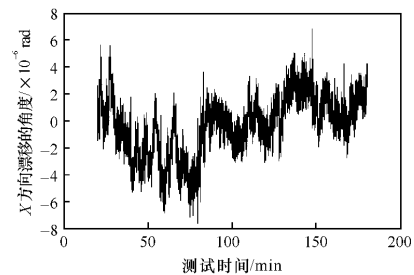


图4(c) 20 min后光束Y方向上的漂移量

Fig. 4(c) The solid angle drift of laser beam in Y direction 20 minutes later after beginning

4 结论

激光器工作时,其光束的指向不仅受温度及环境的影响,而且还与激光器的内部设计和结构有

关;经多次测量发现,相对于刚开始的位置,He-Ne 激光器输出光束的最大漂移 X 方向小于 5.8×10^{-5} rad, Y 方向小于 1.1×10^{-4} rad, 激光器稳定后的最大漂移 X 方向小于 2.0×10^{-5} rad, Y 方向小于 2.8×10^{-5} rad。

5 结束语

借助 CCD 摄像头、图像采集卡、光斑分析-采集软件和计算机,设计出了一套光斑漂移检测与控制系统。鉴于 CCD 具有光谱响应范围宽、动态范围大、噪声低、暗电流小、灵敏度高特点,分析软件采用多次平均算法对 CCD 噪声进行了有效的抑制,所以本系统可对不同种类不同波段的多种激光器进行检测,并能准确地计算出其出射光束漂移的大小。该系统对进一步实现激光光束漂移控制,提高其指向稳定性和准直精度奠定了良好的基础。

参考文献:

[1] 周建民,白素平. 激光基准在机床工作台误差自动校正中的应用[J]. 长春光学精密机械学院学报,2001,24(1):28-30.
ZHOU Jian-min, BAI Su-ping. The application of laserbeam in error autorectification of machine tool working table [J]. Changchun Institute of Optical

and Fine Mechanics, 2001, 24 (1): 28-30. (in Chinese)

- [2] 方仲彦,殷纯永,梁晋文. 高精度激光准直技术的研究[J]. 航空计测技术,1997,17(1):3-8.
FANG Zhong-yan, YIN Chun-yong, LIANG Ji-wen. Study on high accuracy laser alignment technique [J]. Aviation Measurement Technique, 1997, 17(1):3-8. (in Chinese)
- [3] 万德安. 激光基准高精度测量技术[M]. 北京:国防工业出版社,1999:2-12.
WAN De-an. The technology of high accuracy measurement using laser beam as a straight [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1999: 2-12. (in Chinese)
- [4] 张文涛,朱保华. 利用 CCD 研究激光束在大气随机信道中的传输特性[J]. 应用光学,2004,25(5):33-36.
ZHANG Wen-tao, ZHU Bao-hua. The study for laser beam transmission character in atmosphere rondon channel by using CCD [J]. Journal of Applied Optics, 2004,25(5):33-36. (in Chinese)
- [5] 王庆有. CCD 应用技术[M]. 天津:天津大学出版社,2000:120-147.
WANG Qing-you. Application Technology of CCD [M]. Tianjin: Tianjin University Press, 2000:120-147. (in Chinese)

新的开放存取光学杂志

开放存取(Open Access, OA)出版是近年来开始流行并被倡导的出版形式,它与传统出版模式的根本区别在于:传统出版模式是一种由读者付费的出版模式,信息载体既可是印刷版,也可是电子版,而OA出版模式则是一种由作者付费的出版模式(包括作者个人付费、机构统一付费、广告或赞助收入补贴等),信息载体以电子版形式为主,无偿提供给读者。

开放存取出版理念的核心思想就是文献作品供全世界用户免费及无限制的合理使用,从而实现学术成果的无障碍传播。近年来,国内外光学期刊也受到了这一运动的影响,先后有多家光学期刊创建了开放存取网站。现将这些网站推荐给从事光学研究工作的专家学者,以方便大家查阅。

美国光学学会于1997年创建一份开放存取光学杂志 Optics Express。其网址为 <http://www.opticsexpress.org/issue.cfm>

欧洲光学学会于2006年启动的开放存取光学杂志 Journal of the European Optical Society: Rapid publications (JEOS)。其网址为 https://www.jeos.org/index.php/jeos_rp/issue/current

中国兵工学会和中国兵器工业第205研究所于2006年启动的开放存取杂志《应用光学》。其网址为 <http://www.yygx.net>

中国光学学会和中国科学院西安光学精密机械研究所于2006年启动的开放存取杂志《光子学报》。其网址为: <http://www.photon.ac.cn/index.asp>