

激光技术

激光测向器件及其应用

赵英超, 宋毅恒

(光电信息控制和安全技术重点实验室, 天津 300308)

摘要:激光测向技术是利用光电探测器接收激光信号,根据探测器光敏面对目标像光斑中心位置的偏差,解算出角度偏差量,进而得到目标的方位信息。激光测向技术具有测向范围大、电路设计灵活、测向精度高等特点,因而得到广泛的应用。光电探测器件是激光测向技术的核心器件,介绍了三种主要的探测器件,论述了它们的工作原理和特点,通过比较得出QD具有更多优点,是较为理想的精密测向器件,更适用于高精度动态目标的跟踪测量。

关键词:激光测向技术;光电探测器件;CCD;PSD;QD

中图分类号:TN249

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2017)-00-0038-04

Laser Direction Finding Device and Application

ZHAO Ying-chao, SONG Yi-heng

(Key Laboratory of Electro-optical Information Control and Security Technology, Tianjin 300308, China)

Abstract: The laser direction finding technology uses the photoelectric detector to receive the laser signal, and calculates the angular deviation according to the deviation from the detector photosensitive surface to the spot center of the target, and then obtains the azimuth information of the target. Laser direction finding technology is widely used because of its large range of direction finding, flexible design of circuit and high precision of direction finding. The photoelectric detection device is the core device of laser direction finding technology, three main detection devices are introduced, the working principle and characteristics are discussed. The quadrant detector (QD) has more advantages through comparison, which is an ideal precision direction finding device, and is more suitable for tracking and measuring of high precision dynamic targets.

Key words: laser direction finding technology; photoelectric detection device; charge-coupled device (CCD); position sensitive device (PSD); quadrant detector (QD)

光电探测器件是激光测向技术的核心器件,常用的光电探测器主要包括:电流/电压信号传感器和图像传感器两类^[1]。电流/电压信号传感器是将光能量转化为电流或电压进行处理,而图像传感器可将光能量进行积分,再转化为电信号进行处理,二者都可以实现对角度的动态实时测量。目前,激光测向技术主要采用3种探测器件:CCD(charge coupled device)、PSD(position sensitive device)和QD(quadrant detector)。其中CCD多用在图像传感器测向技术;PSD多用于激光自准直测向技术;QD多用于高

精度快速定位激光测向技术。

1 电荷耦合器件(CCD)

CCD成像技术是从20世纪70年代发展起来的,目前的技术已发展的相当成熟。CCD具有以下特点:性能稳定、灵敏度高、噪声低、功耗小、动态范围大、响应速度快,且CCD有理想的线性特性,只要能保证它提取出来的目标信息是准确的,就能计算出目标角度。

图1为CCD成像器件示意图。

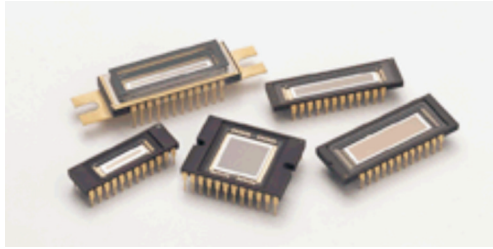


图1 CCD成像器件示意图

基于 CCD 的测向技术一般多用于二维空间对目标的方位角进行动态测量,例如,在被测平面上附上二维衍射型光栅,通过 CCD 的读数来确定衍射图像的变化,对条纹的移动进行分析,可以测得被测平面的角度变化,该方法的准确度可以达到 0.4",测量范围有 1 300 弧秒。天津大学与航天部合作研制的 TJDX-93 双坐标光电自准直仪,以 CCD 实现角度测量,分辨率达到 0.1"。

CCD 可获取目标的图像信息,通过图像处理获取目标的几何中心或某一部分图像的角度信息,但其图像的获取是通过电荷的累积积分来完成的,积分时间将会影响对动态目标,特别是高速运动目标的测量精度,同时帧频也不会很高。当不同像素间对信号响应不一致时,对运动目标位置的测量精度影响将很大,并且其驱动电路复杂,制造工艺也较为复杂。所以,CCD 不能作为理想的动态测向探测器。

2 位置敏感探测器(PSD)

PSD 是一种光电位置敏感器件,它是利用半导体横向光电效应实现定位的。PSD 的基本特点有:

(1) PSD 有完整的光敏面,是一种无盲区的连续性器件,与象限探测器相比,可以连续的测得位移信号;

(2) 分辨率较高,响应速度较快;

(3) 光斑中心定位对光斑的形状和能量分布无要求,在强背景光干扰条件下,可采用不同的调制技术进行信号检测;

(4) PSD 角度测量系统的结构简单,信噪比较高。

PSD 通常用在激光自准直系统中,用于测量动态角度的变化。图 2 所示是 PSD 探测器件示意图。

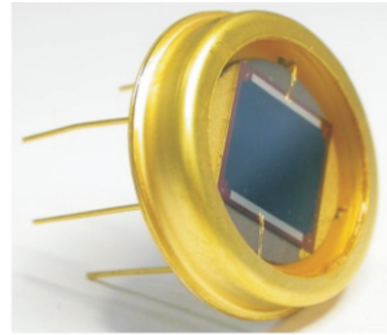


图2 PSD探测器件示意图

图3所示是 PSD 用于激光自准直技术的原理示意图。

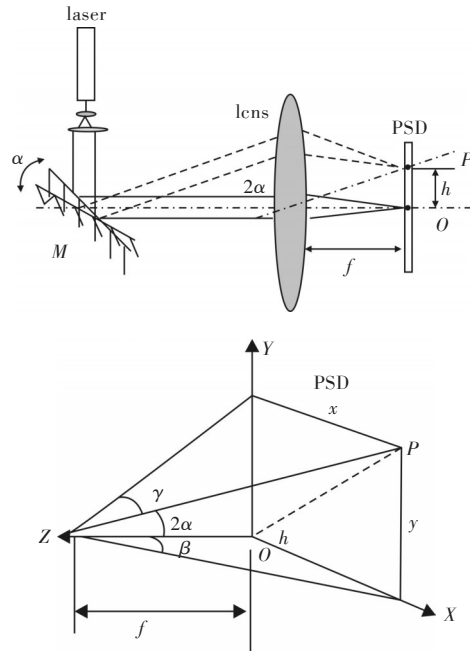


图3 PSD测向原理示意图

激光束经过反射镜 M 的反射,由光学系统聚焦到 PSD 的感光面,当反射镜 M 转动 α 角度时,PSD 光敏面的光点也在产生位置移动。从原点 O 到偏差点 P 的距离为 h,将其进行 β 水平方向和 γ 垂直方向的分解,可得到角度偏差量为

$$\beta = \arctan\left(\frac{X}{F}\right) r Y = \arctan\left(\frac{y}{f}\right) l \alpha = \frac{\arctan\left(\frac{h}{f}\right)}{2} \quad (1)$$

其中, f 为自准直系统的焦距。利用 PSD 进行测向,可得到测向精度在 1 mrad 左右。

PSD 的主要缺点在于:

(1)其内部的结电容分布不均匀,制作 PSD 的 N 区材料不均匀,且电极大小、形状不一致;

(2)边缘处线性度比较差;

(3)PSD 获取目标的位置是通过对光斑能量中心的定位,若目标距离 PSD 的距离很远,则 PSD 不能准确定位;

(4)PSD 探测灵敏度和探测响应度一般较低,且测量频率不高。

因此,PSD 通常用于近距离的激光自准直系统中,在高精度远距离跟踪系统中,PSD 不是最佳选择。

3 四象限探测器(QD)

QD 是一种光伏型半导体探测器件,能够产生连续电信号,可形成连续的位置偏差量。QD 的光敏面是由四个探测区域组合到一起的光电探测面组成,通常做成圆形,光敏面的四个探测区域从外部的形状到内部的性能参数在理论上是完全一样的,四个区域之间通过交叉的死区分隔。图 4 所示为四象限探测器示意图。

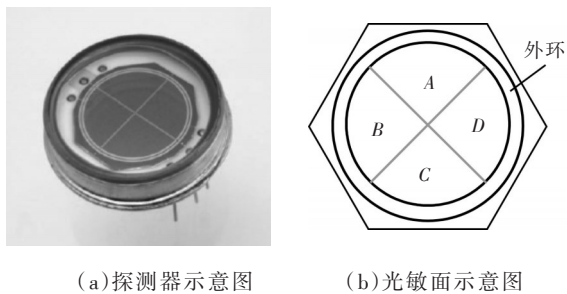


图 4 四象限探测器示意图

与 CCD 和 PSD 相比,QD 的噪声小,探测灵敏度高,响应速度快,分辨率高,各个象限输出连续信号,处理电路设计灵活,便于高精度的快速测量。目前,基于 QD 的激光测向技术主要用于对高速运动目标进行高精度的定位,如激光制导、激光准直、激光对接、激光侦察以及激光主动跟踪等相关领域。

美国空军实验室设计的导引头所采用的就是四象限 APD(雪崩光电二极管),其束散角为 15 mrad 。在空间光通信 APT 系统中,欧洲航天署及其合作公司利用 QD 对目标进行跟踪定位,系统可达到 $\pm 200^\circ$ 的搜索范围,跟踪定位精度小于 2 mrad 。中科院光

电所研制的电子动态自准直仪采用四象限探测器作为探测元件,其分辨率可达 $0.1''$,测量范围为 $\pm 300''$ 。国外使用 QD 测向技术对空间运动目标进行主动跟踪,已成功的运用在 PATS,EOTS-F 等系统中,其外场验证试验获得了较高的精度。

目前,利用 QD 进行角度测量还存在一些不足,主要是死区的限制以及测向精度受光斑漂移和大气环境的影响较大,有分析指出,若能合理的选择器件参数,并选择稳定的大气环境,其测向精度能达到 $2''$ 。

4 结 论

通过对上述三种器件性能的比较,得出以下结论:PSD 虽然性能可靠,处理电路简单,但是位置分辨率不高、响应速度慢、工作线性宽度很窄;CCD 虽然位置分辨率高,但有积分时间的限制,响应速度较慢;相较而言,QD 具有响应时间短、位置分辨率高、灵敏度高优势,是较为理想的精密测向器件,更适合于高精度动态目标的跟踪测量。

参考文献

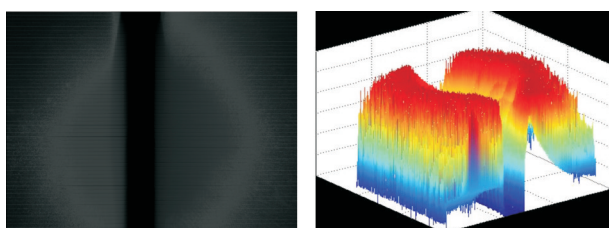
- [1] 杨韞华,曾钦勇,万勇,等.激光告警系统中的光纤时间延迟测向技术研究[J].激光与红外,2005,35(4):269-270.
- [2] 胡进军,王江磊.脉宽测向技术在激光告警设备中的应用[J].科技创新与应用,2014(12):3-4.
- [3] 杨韞华,曾钦勇,吕炳朝,等.光纤延迟线长度编码优化设计[J].红外与激光工程,2005,24(4):438-449.
- [4] 谢春玉,孙璟宇,王中宇.无人机激光协同系统设计方案及仿真分析[J].微计算机信息,2009,25(8-1):128-130.
- [5] 蔡克荣,陈铭.基于五元立体声阵的被动定位系统设计[J].传感器与微系统,2016,35(4):67-69.
- [6] 连勇,刘勇,王素青.激光高分辨率无源探测技术在反潜战中的应用[J].舰船电子对抗,2014,37(1):28-31.
- [7] 郝振兴,罗继勋,胡朝晖.红外探测与追踪的双机被动定位模型[J].探测与控制学报,2016,38(1):28-32.
- [8] 于丽霞,王福明.一维 PSD 器件及其在测量中的应用[J].现代电子技术,2007(7):143-144.
- [9] 李忠科,秦永元.PSD 器件自动化标定与非线性修正技术研究[J].激光技术,2004,28(4):370-372.
- [10] 段洁,孙向阳,蔡敬海,等.PSD 在激光位移检测系统中的应用研究[J].红外与激光工程,2007,36:281-284.

[11] 吴炜,严利平. 基于PSD器件的激光位移测距系统设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2016(1):49-51.

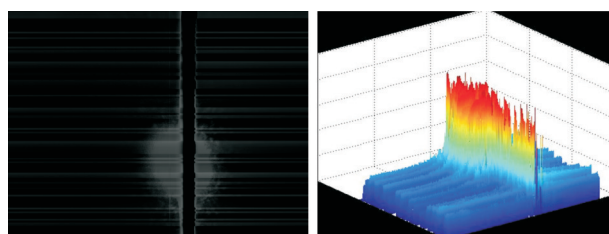
[12] 张婷婷,姚恩涛,贾俊涛. 激光光斑形状及入射角对PSD位置输出影响的研究[J]. 计测技术,2012,32(1):15-18.

(上接第32页)

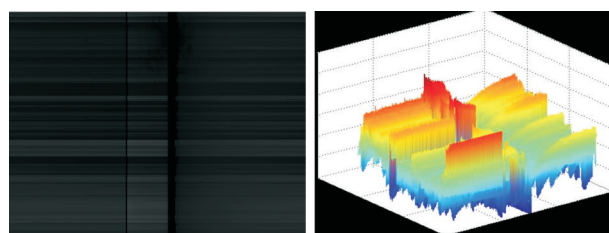
对应的激光参数,例如完全破坏阈值是CCD不能再恢复工作时的功率密度,此时,CCD失去其功能。但这些都只是现象,CCD的实际失效阈值的获得取决于失效准则,必须和图像质量评价以及特定CCD的特定任务联系起来,这需要进一步深入研究。



(a)纳秒激光作用时损伤效应



(b)脉冲串激光作用时损伤效应



(c)皮秒激光作用时损伤值效应

图5 CCD完全损坏时的图像

3 结 论

以典型面阵CCD相机作为干扰对象,考察了不

同脉宽、不同体制532 nm脉冲激光对其作用效应,获得了其饱和阈值、串扰阈值和完全失效阈值。实验结果表明,皮秒脉冲串激光并没有带来更多的新现象,和纳秒激光辐照情形类似^[4],各种现象及阈值也基本一致;脉冲串激光与普通皮秒激光相比,CCD完全破坏对应的阈值要低两个数量级,其他相同干扰效果时所需的功率密度都要低1~2数量级。

参考文献

- [1] 刘泽金,陆启生,蒋志平,等. 面阵CCD图像传感器点破坏机理研究[J]. 应用激光,1995,15(2):85-86.
- [2] 王世勇,付有余,郭劲. 激光辐照面阵CCD探测器系统局部的干扰效应[J]. 半导体光电,2002,23(2):106-109.
- [3] 郭少锋,程湘爱. 高重复频率飞秒激光对面阵CCD的干扰和破坏[J]. 强激光与粒子束,2007,19(11).
- [4] 王金宝. 激光辐照可见光面阵Si-CCD探测器实验研究[D]. 长沙:国防科学技术大学,2003.
- [5] 官上洪,司汉英. 强光作用下CCD串扰特征研究[J]. 光电技术应用,2017,32(3):6-10.
- [6] 李季波,王洪彬. 双线阵CCD图像灰度匹配在线校正方法[J]. 光电技术应用,2017,32(3):11-14.
- [7] 沈洪斌,沈学举,周冰,等. 532 nm脉冲激光辐照CCD实验研究[J]. 强激光与粒子束,2009,21(10):1449-1453.
- [8] 刘妍妍,李国宁,韩双丽,等. TDI CCD视频响应性能的高精度检测[J]. 光电器件,2012,33(5):624-626.
- [9] 曾议,桂利佳,赵晓翔,等. 空间传感器CCD模块热设计与仿真分析[J]. 光学遥感,2013,8(5):364-371.
- [10] 李宪圣,万志,刘则洵,等. 大视场空间相机CCD性能测试及筛选方法[J]. 红外与激光工程,2014,43(7):2245-2250.