

CCD作为探测器用于激光角跟踪系统的研究

胡 英 川

摘要: 本文讨论了CCD激光角跟踪系统的工作原理,分析了CCD激光角跟踪系统的探测距离和测角精度,并将CCD系统与传统的四象限系统作了比较,同时论述了用于CCD系统的电子快门技术和像增强器技术。文章最后提出了CCD系统比传统的四象限系统,具有较大的优越性。

一、引 言

目前国内激光角跟踪系统中一般是采用技术上较为成熟的四象限探测器。由于四象限探测器在光学系统中必须离焦使用,这就使大气湍流对激光回波光斑的均匀性造成了影响,由此而带来了测角误差。同时,四象限探测器四路放大的不对称性也是影响激光角跟踪精度的主要误差源之一。此外,四象限探测器的最小探测光功率是额定的,在激光发射功率一定的情况下,这种光电跟踪系统的探测距离很难再有提高。为改善目前激光角跟踪系统的性能,希望能够找到一种探测器来代替四象限探测器,使它能够位于光学系统的焦平面上工作,这样既减轻大气湍流对激光回波光斑的影响,又消除了探测器自身多路输出不对称性所带来的误差,从而提高整个系统的角跟踪精度。同时,我们亦希望这种探测器具有更灵敏的激光接收性能,使跟踪系统的测程得到提高。配有图像增强器的电荷耦合器件(CCD)的出现,为光电跟踪系统带来了一种新型的探测器。CCD可以位于系统焦面上工作,完全消除了四象限探测器自身的弱点。CCD的象元几何尺寸很小,各个象元素的输出彼此独立,由此而确定的跟踪目标的位置角较为精确;另一方面,配有像增强器的CCD接收光照可达 $10^{-4}lx$ 、最高可达 $10^{-7}lx$ 。具有代表性的美国仙童公司生产的CCD221为例,加上像增强器后,其最小接收光功率可达 $10^{-9}W$,而一般的四象限探测器的最小接收光功率为 $10^{-7}W$ 。由此可见,在其它条件相同的情况下,CCD跟踪系统的测程将大于四象限系统的测程。

激光角跟踪系统所发出的是 $1.06\mu m$ 的YAG激光,CCD探测器的光谱响应波段为 $0.4 \sim 1.1\mu m$,对 $1.06\mu m$ 辐射完全可以响应。为控制CCD的光积分时间,减轻天空背景光的干扰,在CCD探测器前面需加电子快门。为增强CCD的微光探测能力,提高系统的测程,使像增强器与CCD配合使用。这是CCD作为探测器用于激光角跟踪系统的基本思想。

CCD激光角跟踪系统的测角原理如下:

如图1所示,为激光探测系统原理图。CCD是一种固体成像器件,用CCD作为系统的探测器可以对目标进行形心跟踪或矩心跟踪等。通过电视和微机系统对CCD各个象元素输

出的模拟电信号的处理，可以在设定的坐标系中确定目标的有关中心位置。这样就可以求出目标的脱靶量，即目标的中心位置相对系统光轴的高低和方位偏差角。具体的计算公式如下：

$$\theta_x = \frac{a}{f} \Delta m, \quad \theta_y = -\frac{b}{f} \Delta m \quad (1)$$

其中： Δm 为光斑中心距 y 轴的象素个数。

Δn 为光斑中心距 x 轴的象素个数

f 为光学接收系统的焦距。

a 为象素的横向尺寸

b 为象素的纵向尺寸

θ_x 为目标的 x 方向角偏移量

θ_y 为目标的 y 方向角偏移量

根据测距方程式：

$$P_r = \frac{16 A_r \cdot A_t \cdot K_T \cdot K_f \cdot \rho \cdot \rho_r \cdot e^{-2\mu R}}{\pi^2 \alpha_1^2 \alpha_2^2 R^4} P_i \quad (2)$$

可以计算CCD系统的最大测程。

其中： P_r 为接收器最小接收光功率。

A_r 为接收器面积。

A_t 为目标的有效反射面积。

μ 为大气消光系数。

R 为测程

K_T 为滤光片透过率。

K_f 为发射系统透过率。

ρ 为目标的反射系数。

ρ_r 为接收系统透过率。

P_i 为激光的发射功率。

配有像增强器的CCD跟踪系统的最小探测光功率为 $10^{-9}W$ 。而普通四象限的最小探测光功率为 $10^{-6}W$ 。在其它条件相同的情况下，由测程方程（1）式中可以求出：CCD系统的测程大于四象限系统的测程。对大气透过率 $e^{-2\mu R}$ 的计算是求测程的关键。由于 $\mu^{(R)}$ 是测程 R 的函数，每一公里高的 $1.06\mu m$ 激光的大气消光系数 μ 都不相同。对此，取步长为 $R = 1 km$ 对 μR 进行数值积分，由于此项计算相当复杂，要在计算机上进行计算。这样从理论上可以得到各种条件下CCD系统和四象限系统的测程。

CCD标准的扫描工作频率为50场/秒，积分时间为20ms，而激光的脉冲宽度为10ns，即CCD真正有效的光积分时间为10ns。这样作为探测器的CCD在使用时将出现提前饱和的问题。即使在CCD前加上了 $1.06\mu m$ 波段滤光片，天空背景光中的 $1.06\mu m$ 的红外辐射成分也将使CCD在没有接收到激光回波信号之前就大量接收背景光，甚至饱和、使CCD无法正常工作。为消除背景光的影响，需采用电子快门技术，使CCD在没有激光回波信号之前，处于关闭状态。这样大大改善了目标信号对背景的对比度，从而保证CCD正常接收激光回波信

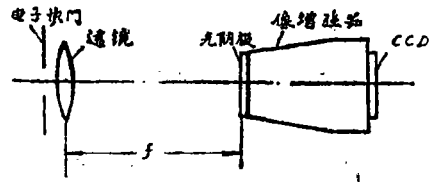


图 1

号。

为满足激光角跟踪系统对小目标测程指标, CCD探测系统需配有像增强器。CCD像增强器的使用增强了系统的微光探测性能, 提高了系统的测程。这种像增强器要求其光阴极为具有负电子亲和势 (NEA) 的材料。这种光阴极的光谱响应的峰值波长在 $1.06\mu\text{m}$ 附近。这种像增强器或称为第三代像增强器。

A Study of CCD as a Detector Used in Laser Tracking System

Hu Yingchuan

Abstract

This paper discusses the principle of the charge-coupled-device (CCD) laser tracking system, analyzes the detected distance and the angle accuracy of the system. It also compares the CCD system with the quadrant device (QD) system and describes the electronic shutter technology and the enhanced-image technology used in the CCD laser tracking system with finally a conclusion that the CCD system is superior to the QD system.