

高精度视轴指向可变角度高光谱成像系统研究

杨培庆, 亓洪兴, 王义坤, 葛明锋, 刘毓博

(中国科学院上海技术物理研究所 空间主动光电技术重点实验室, 上海 200083)

摘要:研制了一套高精度视轴指向的可变角度高光谱成像系统, 基于对指向镜的复合控制实现了高精度视轴指向和探测角度可变功能, 实验室试验获取了高精度视轴指向的多角度高光谱图像, 证明了系统方案的可行性。光机结构简单、体积小、重量轻, 适合轻小型无人机应用, 对多角度高光谱成像技术在林业上的应用具有一定的推广价值。

关键词:高光谱成像仪; 视轴指向; 可变角度; 指向精度

中图分类号: TP731 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-5078.2016.04.017

Study on the variable angle hyperspectral imaging system with high precision boresight pointing

YANG Pei-qing, QI Hong-xing, WANG Yi-kun, GE Ming-feng, LIU Yu-bo

(Shanghai Institute of Technical Physics, Key Laboratory of Space Active Opto-electronics Technology, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract: A variable angle hyperspectral imaging system with high precision boresight pointing was developed. High precision optical axis pointing and variable angle detection were realized by controlling the pointing mirror. The multi angle hyperspectral image with high precision pointing was obtained through a functional verification test. This imaging system has the advantages of simple optical-mechanical structure, small volume, light weight, real-time detection with variable angle and good adaptability on minitype unmanned aerial vehicle (UAV). These advantages promote the application of the multi angle hyperspectral remote sensing in forestry.

Key words: hyperspectral imager; boresight pointing; variable angle; the pointing accuracy

1 引言

近年来高光谱遥感因其纳米级的光谱分辨率在林业上展现出了巨大的应用潜力^[1]。但传统的单角度高光谱遥感只能得到森林树木的正投影, 无法探测到森林树干和冠层结构的多维信息, 因而在利用遥感数据进行森林相关参数反演时存在精度不足的问题。为克服这个问题, 高光谱遥感渐渐从单一角度高光谱遥感发展到多角度高光谱遥感。采用不同角度的观测, 使地物在同一波段呈现出不同角度的差异, 这种多角度和高光谱相结合的遥感数据, 可

以更为细致地区分、识别不同地物, 并有助于消除同物异谱和异物同谱的影响, 提高森林树种分类精度和森林参数反演的准确度^[2]。为此设计了一种高精度视轴指向可变角度高光谱成像系统。基于对45°指向镜的复合控制, 实现高光谱成像系统在俯仰方向视轴稳定的同时又实现了探测角度可变的的功能。

2 系统工作原理

系统工作原理如图1所示, 地物目标的反射光线经指向镜二次反射进入高光谱成像系统进行成

像。控制光学系统前置 45° 指向镜转动实现可变角度探测。可变角度探测要求系统具有非常高的视轴（光学系统主点与 CCD 靶面中心的连线^[3]）指向精度，然而实际进行航空遥感作业时，由于气流扰动的影响，运动平台难以保持自身相对于大地坐标系的姿态稳定，其俯仰方向的姿态扰动使该系统视轴指向随着飞行平台抖动而产生偏移，视轴指向精度降低，因此需要一定的技术手段对视轴方向进行姿态补偿^[4-5]。系统利用姿态传感器实时检测飞行平台的姿态扰动，进而控制俯仰电机带动 45° 指向镜进行 1/2 倍角度反向补偿，纠正俯仰扰动导致的视轴偏移，实现高精度视轴指向。

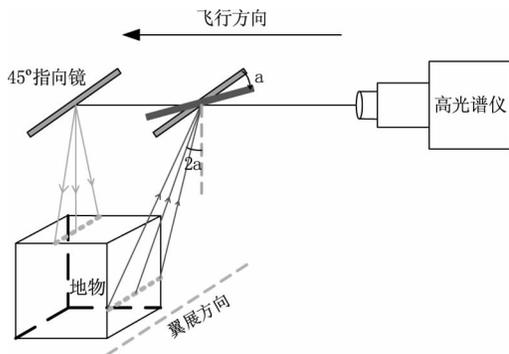


图1 探测角度可变的光路示意图
Fig. 1 Light path of variable angle of detection

3 系统设计

高精度视轴指向的可变角度高光谱成像系统硬件结构如图 2 所示，系统由高光谱成像子系统、电机、配重块、驱动器、光电编码器、45° 指向镜和支撑环架组成，其中高光谱成像子系统由 CCD 相机、PGP 分光计和镜头搭建而成。

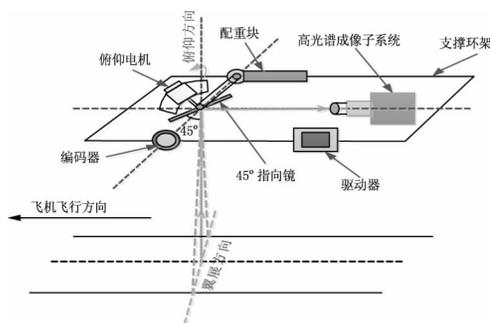


图2 可变角度高光谱成像系统结构示意图
Fig. 2 Structure diagram of variable angle hyperspectral imaging system

系统控制框图如图 3 所示，选择经典 PID 三环控制算法作为核心算法^[6]；采用动态响应快、定位精度高的音圈电机带动指向镜实现视轴指向和探测角度可变。RS232 串口将姿态传感器检测的姿态变

化信息传到上位机内的数据采集控制卡 NI7830 中，与外部输入的探测角度命令相叠加，一起作为外置位置环输入控制命令，配合 ACJ 驱动器中的速度环和电流环，实现俯仰电机的 PID 三环控制。探测角度不变时，姿态变化指令驱动电机带动指向镜实现高精度视轴指向；探测角度改变时，上位机输入的探测角度指令与姿态扰动指令复合控制电机带动指向镜实现视轴指向和探测角度可变。

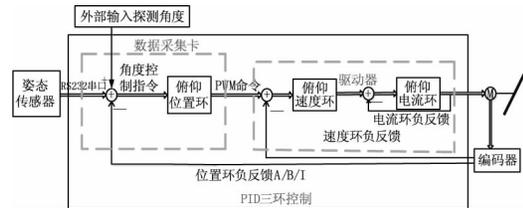


图3 系统控制示意图

Fig. 3 Diagram of system control

俯仰方向上由于受重力的影响，电机负载大小会随着 45° 指向镜位置的改变而改变。负载大小的改变会增大系统控制难度，降低系统控制精度。为此本系统采用配重块来降低 45° 指向镜重力分力的影响，提高系统的控制精度。

4 地面模拟实现方案与结果分析

4.1 实验方案

在实验室里利用六自由度运动平台^[7]和大反射镜搭建可变角度高光谱成像系统飞行模拟实验系统，模拟系统如图 4 所示。六自由度运动平台绕其俯仰轴做正弦运动用来模拟飞机在进行飞行作业时的姿态扰动；大反射镜绕自身转轴转动使得高光谱成像系统在远处高层建筑侧面进行上下扫描成像，从而模拟飞行平台向前飞行的过程。地面模拟实验系统相关参数如表 1 所示。

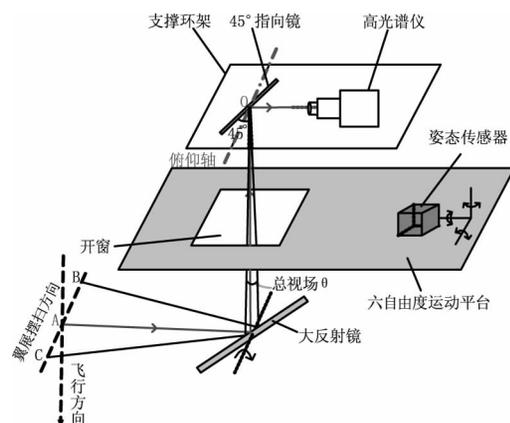


图4 面模拟系统

Fig. 4 System of ground simulation

表1 可变角度高光谱成像系统
以及模拟平台的相关参数

Tab. 1 The relevant parameter of variable angle
hyperspectral imaging system and simulation platform

技术指标	参数
光谱响应范围	450 ~ 900 nm
光谱分辨率	4 nm
空间分辨率	1.2 mrad
指向精度	小于1个像元
总视场	31.7°
俯仰姿态扰动幅度	±1°
俯仰姿态扰动频率	0.1 Hz

地面模拟系统实现可变角度高光谱成像过程如下:

1) 姿态传感器刚性固定在六自由度运动平台上,利用姿态传感器检测运动载体俯仰方向的姿态扰动角 β ;

2) 不改变探测角度时,将 $-\frac{1}{2}\beta$ 作为视轴稳定命令输入到音圈电机的位置环PID,控制音圈电机带动指向镜转动,纠正运动载体俯仰姿态扰动导致的视轴偏移,实现45°指向镜的高精度指向。

3) 改变探测角度时,通过上位机输入需要改变的角度指令,与 $-\frac{1}{2}\beta$ 指令叠加在一起作为PID位置环输入指令,复合控制电机转动,实现高精度指向的同时实现多角度探测。

4.2 实验结果

图5为地面飞行模拟实验时不同角度前后获取波段为700 nm的图像。大反射镜在同一角度时,从图5(a)、(b)和(c)中可看出改变探测角度后获取的目标信息明显不同。



(a)后向2°探测



(b)垂直探测



(c)前向2°探测

图5 不同探测角度在700 nm波段获取的图像

Fig. 5 Images of variable detected angles at 700nm wavelength

图6为不同探测角度时系统误差控制曲线图,其中图6(a)、(b)、(c)分别为系统后向2°探测、垂直探测和前向2°探测的误差控制曲线。地面模拟平台产生1°正弦姿态扰动时,控制系统将姿态传感器检测的姿态扰动信息转换成控制命令,控制电机带动45°指向镜进行姿态补偿。从图6(b)中可以看出垂直探测时系统控制误差为 $\pm 0.02^\circ$ (0.349 mrad),控制误差远小于一个像元(1.2 mrad),满足系统高精度指向的要求。图6(a)和(c)为相同条件下的后向2°和前向2°探测的控制曲线,由于俯仰方向反射光路的2倍角关系,电机只需转动1°即可实现改变2°探测角。从图中可以看出,当需要改变2°探测角度时,指向镜稳定中心改变1°,并且系统的控制误差仍能控制在 $\pm 0.02^\circ$ 以内,改变探测角度后系统的复合误差并没有显著增加。相比于需要改变的探测角度而言,误差角度非常小,视轴指向精度满足实现可变角度探测的功能。从图6可以看出系统控制误差成类似正弦变化并相对于干扰存在一定的时间延迟,这主要是因为:①输入的模拟扰动信号为正弦波信号,电机响应存在时间延迟,系统并不是实时

姿态补偿;②系统采用的是经典 PID 控制算法,该算法没有预判功能,无法实现自动调节 PID 参数。

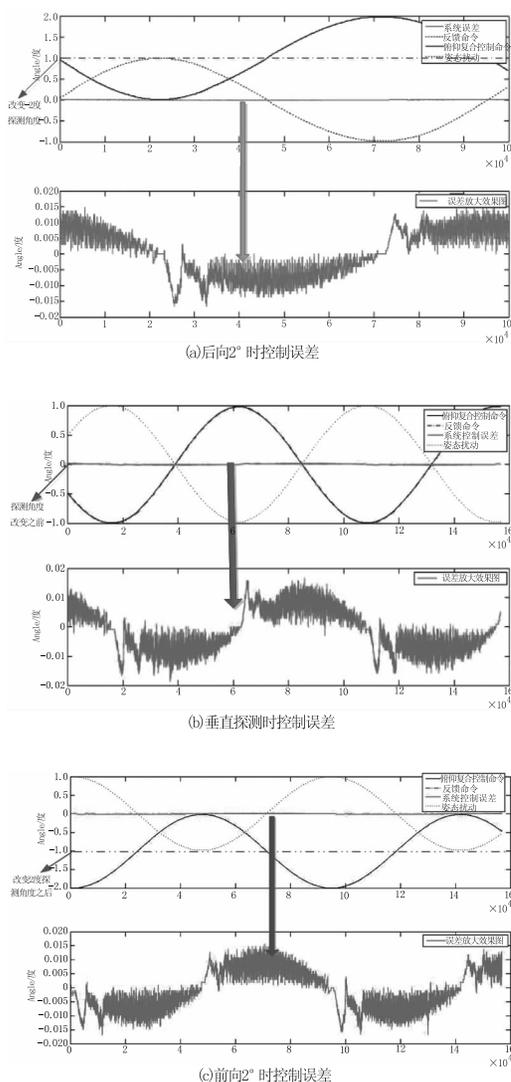


图6 不同探测角度时系统控制误差

Fig. 6 Control error of the system with different detection angles

5 结论

目前获取多角度高光谱遥感数据主要采用多角度传感器的方式,这种模式探测角度固定,虽然角度指向精度高,但无法根据需要实时改变探测角度,而且系统结构复杂,成本高。针对多角度传感器模式的局限性,本文研制出一种高精度视轴指向的可变角度高光谱成像系统,并在实验室进行了地面模拟实验,获取了指向精度非常高的可变角度高光谱图像数据,证明了系统方案的可行性。该系统光机结

构简单、体积小、重量轻,适合轻小型无人机应用,对多角度高光谱成像技术在林业上的应用具有一定的推广价值。

参考文献:

- [1] WANG Jianyu, SHU Rong, LIU Yinnian, et al. Introduction to imaging spectrum techniques [M]. Beijing: Science Press, 2006. (in Chinese)
王建宇,舒嵘,刘银年,等. 成像光谱技术导论 [M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [2] Wu C Y, Niu Z, Wang J D, et al. Predicting leaf area index in wheat using angular vegetation indices derived from in situ canopy measurements [J]. Canadian Journal of Remote Sensing, 2010, 36(4): 301 - 312.
- [3] WANG Tao, ZHU Mingchao, YIN Shengli, et al. Analysis of LOS pointing error derived from precision of shafting in stabilization mechanism [J]. Infrared and Laser Engineering, 2011, 40(11): 2265 - 2276. (in Chinese)
王涛,朱明超,阎胜利,等. 稳定平台轴系精度对视轴指向误差的影响分析 [J]. 红外与激光工程, 2011, 40(11): 2265 - 2276.
- [4] LÜ Hongyu, JIN Gangshi, GAO Xuhui. Stabilization analysis of airborne electro-optical platform with two-axis and four-gimbal [J]. Laser & Infrared, 2015, 45(2): 195 - 197. (in Chinese)
吕宏宇, 金刚石, 高旭辉. 两轴四框架机载光电平台稳定原理分析 [J]. 激光与红外, 2015, 45(2): 195 - 197.
- [5] CHEN Miaohai. Situation and future development of the reconna issuance surveillance vehicle and its electro-optic sensors [J]. Laser & Infrared, 2005, 35(7): 460 - 464. (in Chinese)
陈苗海. 侦察监视车及其光电传感器的发展状况 [J]. 激光与红外, 2005, 35(7): 460 - 464.
- [6] Richard C Dorf, Robert H Bishop. Modern control systems [M]. 11th ed. New Jersey: Prentice Hall, 2010.
- [7] Li Chuan-rong, et al. Integrated authentication system technology for remote sensing payload on UAV [M]. Beijing: Science Press, 2014. (in Chinese)
李传荣, 等. 无人机遥感载荷综合验证系统技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2014.