

# 星载超光谱成像仪摆镜地面检测系统设计

程海波<sup>1,2</sup> 刘学斌<sup>1</sup> 胡炳梁<sup>1</sup> 郭 瑞<sup>1,2</sup>

(1 中科院西安光学精密机械研究所, 西安 710068)

(2 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘 要** 针对星载超光谱成像仪摆镜系统提出了一种通用方便的地面检测方案, 给出了该方案的硬件组成, 详细介绍了方案中检测软件的设计方法, 阐述了防止步进电机换向丢步及限位信号抖动的措施, 给出了软件主要流程框图. 实验结果及检测后摆镜实际运行效果验证了该检测方案的有效性、可靠性.

**关键词** 摆镜检测; 步进电机; 多媒体定时器; 星载超光谱成像仪

**中图分类号** TN94 **文献标识码** A

## 0 引言

星载超光谱成像仪<sup>[1]</sup>是集光学、光谱学、精密机械、电子技术及计算机技术于一体的新型遥感器, 是近年来国内外航空技术应用的热点. 超光谱成像仪中的摆镜系统位于镜头部件的前方, 成像仪接收摆镜反射地面目标的辐射信息来成像, 通过摆镜的摆动扩大成像视场、进行成像和定标<sup>[2]</sup>工作的切换, 所以摆镜系统的性能、功能是影响成像仪正常工作的重要因素.

摆镜系统的设计安装完成后, 为了检查测试其功能、性能, 需要设计一套地面检测系统. 本文基于对摆镜系统工作过程的分析, 提出了一套软硬件设计方案, 实现摆镜系统的地面检测. 该方案能够动态检测摆镜系统误差, 得出其最佳工作转速, 还能模拟星务主机的命令对其功能进行检测.

## 1 摆镜检测系统设计方案

### 1.1 摆镜系统简介

图 1 为成像仪摆镜系统, 其由摆镜(一块平面反射镜及位于镜面上的旋转轴系)、步进电机、减速比为 1:60 的蜗轮蜗杆、霍尔限位元件(未画出)、支架等组成. 步进电机带动蜗轮蜗杆运转, 蜗轮与摆镜

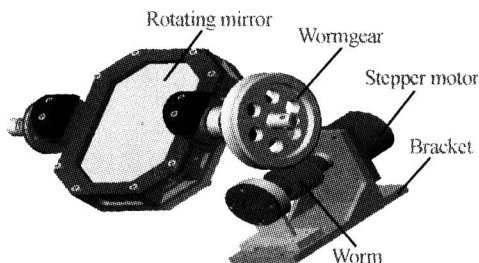


图 1 摆镜系统  
Fig. 1 Rotating mirror system

的旋转轴系相接, 摆镜随着步进电机的运转而旋转. 当摆镜旋转到达某个预定位置时, 步进电机停转, 摆镜就停止在这一位置, 成像仪在此位置工作.

摆镜在空中有 4 个限位位置, 分别是零点、 $-15^\circ$ 侧视、 $+15^\circ$ 侧视、 $+90^\circ$ 定标限位. 其中, 零点是摆镜镜面与光学成像系统的光轴逆时针成  $45^\circ$  的位置, 其它 3 个位置依次与零点位置成顺时针  $15^\circ$ 、逆时针  $15^\circ$ 、逆时针  $90^\circ$ . 在轨时摆镜系统受星务主机的控制, 有成像和定标两种工作模式. 成像时, 摆镜以零点为中心做  $\pm 15^\circ$  摆动, 将地面目标的辐射信息反射入光学系统, 实现对地  $\pm 30^\circ$  的俯视范围; 定标时, 摆动到  $+90^\circ$  限位上将定标光线引入光学系统, 如图 2. 对应于摆镜的四个限位位置, 在与蜗轮旋转面平行的金属面上都安装了霍尔元件, 摆镜的所有可能工作轨迹如图 3.

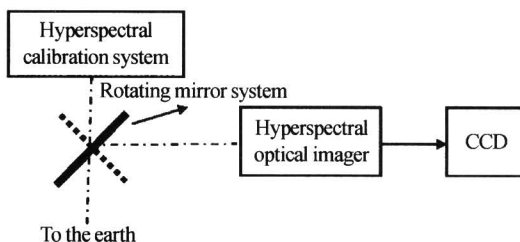


图 2 摆镜系统在超光谱成像仪中的作用  
Fig. 2 Rotating mirror system's function in image hyperspectrometer

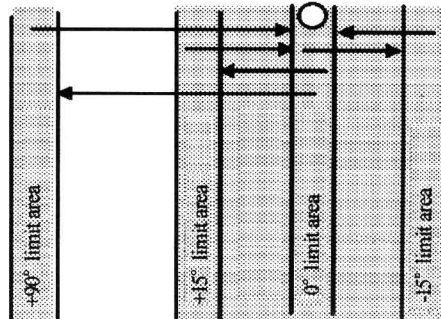


图 3 摆镜工作轨迹图  
Fig. 3 Rotating mirror's moving trace

### 1.2 检测系统构成及工作原理

如图 4, 检测系统硬件由一台工控机, 一块 PCI9111 输入输出数字采集卡, 光学测角装置组成. 工控机通过主板扩展槽上的 PCI 总线与 PCI9111 相连, PCI9111 采集卡用来输出步进电机驱动脉冲, 并采集霍尔元件输入的限位信号. 光学测角装置由数显多齿分度台及自准直光管组成, 用来测得摆镜旋转角度. 检测系统软件运行于 win2000 操作系统上, 用 Visual C++ 写成, 为控制方便、使用灵活, 基于界面友好的对话框程序设计.

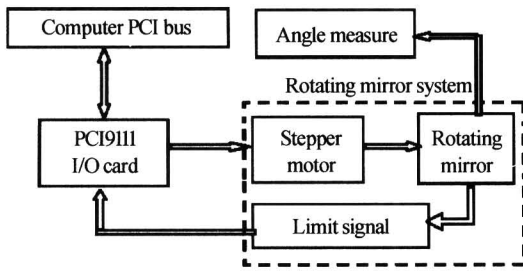


图 4 检测系统硬件组成框图  
Fig. 4 Detection system hardware block diagram

在摆镜工作范围内, 通过检测软件的控制使摆镜做小角度、大角度旋转, 利用光学测角装置得到摆镜的实际转动角度, 并与软件设置的角度相比较, 就可得出摆镜系统的摆动误差. 通过检测软件的控制改变摆镜的旋转速度, 比较不同转速下的摆动误差, 就可得出其最佳转速. 引入霍尔元件后, 通过模拟星务主机的命令让摆镜摆动到在轨工作位置, 可对其进行完整的功能检测.

## 2 检测软件设计

因为摆镜的旋转角度、速度和方向可以通过控制步进电机的转动步数、速度、方向来实现, 所以摆镜检测软件的核心是对步进电机的控制, 图 5 为所设计检测软件的界面.

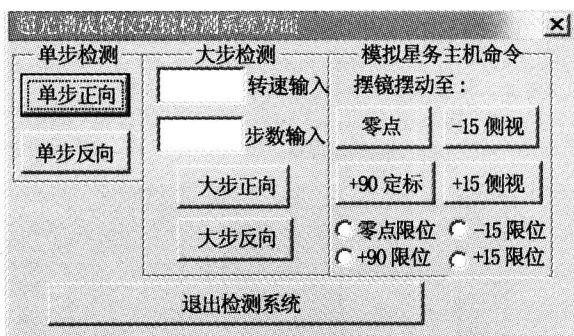


图 5 检测系统软件界面  
Fig. 5 Detection software graphical user interfaces

### 2.1 步进电机驱动脉冲的产生

摆镜系统使用的步进电机有 ABCD 四相, 分别与 PCI9111 的第 3 至 0 输出端口相接, 图 6 为步进

电机工作在四相八拍方式下四项脉冲序列为 A→AB→B→BC→C→CD→D→A 的波形图.

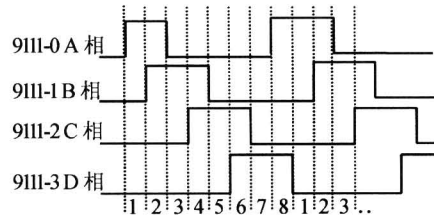


图 6 步进电机驱动脉冲序列波形图  
Fig. 6 Stepper motor's driving pulse wave

对照脉冲序列波形图 6, 采集卡 PCI9111 的四个端口应输出相应的高、低电平. 正转时, ABCD 四项脉冲电平变化顺序为: 1000→1100→0100→0110→0010→0011→0001→1001→1000, 反转时, 四项脉冲电平变化顺序为 1000→0001→0011→0010→0110→0100→1100→1000, 脉冲序列的产生在函数 StepControl 内完成. 如要在 PCI9111 的第 3 到 0 端口输出电平序列 0100, 则调用其库函数 DO\_WritePort (card\_num, P9111\_CHANNEL\_DO, 0x0004) 就可实现.

为了给步进电机的驱动脉冲提供精确定时, 在软件设计上使用了 Windows 操作系统的多媒体定时器服务, 定时准确度为毫秒级, 其使用方法是: 1) 首先调用 timeGetDevCaps 函数, 取得定时器的定时准确度, 记为  $r_1$ ; 2) 再调用 timeBeginPeriod( $r_3$ ) 函数, 设置应用程序期望达到的分辨率. 其中,  $r_3 = \max(r_1, r_2)$ . 在本检测软件中  $r_2$  已赋值为 1, 单位为毫秒; 3) 调用 timeSetEvent(TimerResolution,  $r_3$ , StepControl) 函数, 产生一个在指定时间间隔 TimerResolution 内的定时器事件 StepControl, 即输出电机的驱动脉冲. 其中, TimerResolution = 1000/m\_frequency, m\_frequency 是控制步进电机运转速度的量, 单位为步/s, 改变 m\_frequency 的值, 就可在不同的转速下检测摆镜系统的工作稳定性; 4) 当不再使用多媒体定时器时, 调用 timeEndPeriod 及 timeKillEvent 清除前面所设置的定时器分辨率及定时器事件.

### 2.2 限位信号抖动及步进电机换向丢步的解决措施

为了防止检测系统给被检测摆镜带来误差, 软件设计上对限位信号采取了防抖动措施, 并解决了步进电机换向时的丢步问题.

通过采集判断限位信号是否有效, 来控制摆镜摆动到限位位置, 若限位信号发生抖动, 就会使摆镜系统产生定位误差, 采取的方法是以第一次收到的限位信号为准, 并将其锁定. 摆镜系统中步进电机

本身产生的误差很小,但在换向时(如由正向运转变为反向运转时),如果软件输出的控制脉冲相序不正确,电机就会发生丢步而使被检测系统产生较大误差. 解决的方法是设置两个方向标志量 fore\_flag 和 back\_flag. 若当前步进电机做正向运转,程序置 fore\_flag 为 1,当执行反向运转时,程序先判断 fore\_flag 标志是否为 1,若为 1,表明步进电机先前做正向运转现在需要反向,则程序先调整驱动脉冲序列,即若是最后一个正转的输出脉冲序列为 0100,则当前反转输出的序列应为 1100,保证方向改变后电机驱动脉冲是连续的,没有跨步,再将其输出.

以上方法消除了检测系统给被检测摆镜带来的可能误差,保证了检测系统的有效性、可靠性.

### 2.3 软件流程

检测软件基于界面友好的对话框程序设计,设计流程清楚明了. 图 7 为大步检测的软件流程,将其中步进电机步数的条件判断改为对限位信号的判断就是模拟星务主机命令的软件流程.

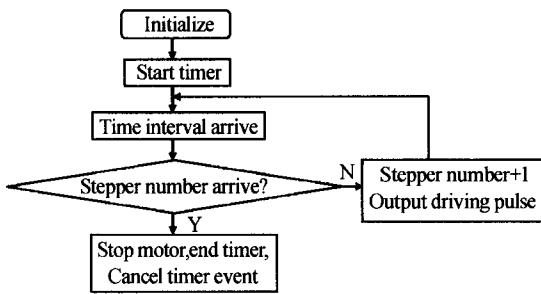


图 7 大步检测软件流程图  
Fig. 7 Large stepper detection soft flow

## 3 摆镜系统检测结果

表 1 和表 2 为对摆镜系统进行单步检测得到的典型数据,其中  $\theta_t = 1.8'$ , 即 108 s, 是摆镜的理论转过角度. 从中可看出检测系统能有效地发现摆镜系统的摆动误差. 通过大步检测,得出摆镜系统最佳转速为 45 步/s. 通过模拟星务主机的命令,控制摆

表 1 调整蜗轮蜗杆间隙前单步检测数据

步数	测角装置读数			摆镜实际 转过角度 $\theta_t$	误差 ( $\theta_t - \theta_t'$ )
	°	'	"		
起始点	0	0	0	0	0
第 1 步	359	58	13	107	1
第 2 步	359	56	37	96	12
第 3 步	359	54	41	116	-8
第 4 步	359	52	53	108	0
第 5 步	359	51	3	110	-2

表 2 调整蜗轮蜗杆间隙后单步检测数据

步数	测角装置读数			摆镜实际 转过角度 $\theta_t$	误差 ( $\theta_t - \theta_t'$ )
	°	'	"		
起始点	0	0	0	0	0
第 1 步	359	58	6	111	-3
第 2 步	359	56	17	109	-1
第 3 步	359	54	29	108	0
第 4 步	359	52	42	107	1
第 5 步	359	50	55	107	1

镜摆动至在轨工作位置,对摆镜系统进行了完整有效的功能检测.

## 4 结论

本文提出的地面检测系统硬件构成简单,软件设计通用方便,有效地检测了摆镜系统的定位误差,控制了蜗轮蜗杆间隙,得到了系统可靠稳定运行的最佳转速,检测了摆镜在轨运行的功能,验证了摆镜系统设计的正确性. 通过实验结果及检测后摆镜实际运行效果,验证了该检测方案的有效性、可靠性,为星载摆镜系统地面检测提供了很好的设计实例.

### 参考文献

- 沈中,葛之江. 航天超光谱成像技术原理及发展现状. 航天器工程, 2001, 10(4): 45~52  
Shen Z, Ge Z J. *Spacecraft Engineering*, 2001, 10(4): 45~52
- 相里斌,许忠瑛,黄旻. 空间调制干涉成像光谱仪定标技术. 光子学报, 2004, 33(7): 850~853  
Xiangli B, Xu Z Y, Huang M. *Acta Photonica Sinica*, 2004, 33(7): 850~853
- 杨晓许,周泗忠,相里斌. 转镜式干涉光谱仪中的误差容限研究. 光子学报, 2004, 33(3): 338~341  
Yang X X, Zhou S Z, Xiangli B. *Acta Photonica Sinica*, 2004, 33(3): 338~341
- 高钟毓. 机电控制工程. 北京:清华大学出版社, 2004, 4: 124~160  
Gao Z Y. *Control Engineering of Electrical Drives*. Beijing: Tsinghua University Press, 2004, 4: 124~160
- 孙传友,孙晓斌. 测控系统原理与设计. 北京:北京航空航天大学出版社, 2002, 9: 246~261  
Sun C Y, Sun X B. *principle and design of measurement and control system*. Beijing: Beihang university press 2002, 9: 246~261
- Michael J. Young. *Mastering Visual C++ 6*. Beijing: Sybex Publishing Company, 1999, 1: 355~467

## The Design of Rotation Mirror Detection System for Image Hyperspectrometer Carried by Satellite

Cheng Haibo<sup>1,2</sup>, Liu Xuebin<sup>1</sup>, Hu Bingliang<sup>1</sup>, Guo Rui<sup>1,2</sup>

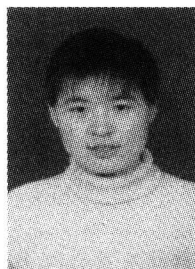
<sup>1</sup> Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710068

<sup>2</sup> Graduate of the Chinese Academy of Science, Beijing 100039

Received date: 2005-01-11

**Abstract** A solution of a simple and reliable ground detection system is introduced for the rotating mirror system in Image Hyperspectrometer Carried by Satellite in this paper. The hardware of detection system is introduced, its software design scheme, main technologies and design flow are provided in detail. Experiments and application show that the solution works stably and has a good effect.

**Keywords** Rotating mirror detection; Stepper motor; Multimedia timer; Image hyperspectrometer carried by satellite



**Cheng Haibo** was born in 1976 in Tianjin. She received her bachelor degree from the University of Science and Technology of China in 1999. At present, she is a postgraduate student of Xi'an Institute of Optics and Mechanics of CAS. Her research interests include computer control technology, high-speed signal processing and FPGA-based system development.