

空间遥感器光机扫描控制器测试系统的开发与实现

黄刚, 赵丽婷, 李超, 于飞, 林喆

(北京空间机电研究所 先进光学遥感技术北京市重点实验室, 北京 100092)

摘要: 为提高遥感器光机扫描控制器的研制效率, 针对目前空间扫描系统常用的执行、测角反馈部件, 研制一套测试系统, 用于对扫描系统的动力学运动特性参数、角度测量特性进行测试, 同时根据测试信息快速开发控制器, 形成开发—测试的闭环, 提高控制器开发的精确性; 根据设计需求, 对测试系统的结构、具体参数, 快速原型机的构成、实时硬件开发平台, 以及信息集成平台的结构进行了详细介绍; 利用直流无刷电机、旋转变压器模拟系统以及快速原型机对系统进行了模拟测试, 证明测试系统可有效进行遥感器扫描系统控制器的快速测试及开发。

关键词: 执行部件驱动测试模块; 轴角模拟测试模块; 快速原型机; 集成平台

Development and Realization of Test System for Optical—mechanical Scanning Controller of Space Remote Sensor

Huang Gang, Zhao Liting, Li Chao, Yu Fei, Lin Zhe

(Beijing Institute of Space Mechanics & Electricity, Key Laboratory for Advanced Optical Remote Sensing Technology of Beijing, Beijing 100092, China)

Abstract: In order to improve the efficiency of the development of optical—mechanical scanning controller for space remote sensor, a test system is designed for the most frequently used actuator and angle—measuring device. The system is used to test the parameter of dynamics, kinematics and angle—measuring, develop a rapid control prototype, forming a closed loop of development and test to improve the controller's accuracy. The structure and parameter of the test system, the structure of rapid prototype with the real—time hardware platform, and the information integration platform is introduced in detail. Using brushless DC motor, the simulator of rotary transformer, and the rapid prototype to test the system, the results prove the system can test and develop optical—mechanical scanning controller rapidly and accurately.

Keywords: test module of actuator; simulation and test module of angle; rapid prototype; information integration platform

0 引言

光机扫描系统是空间光学遥感器的重要部件之一, 是光机扫描型相机接收地物信息的第一个环节^[1-2], 通常通过反射镜的转动扩大视场范围, 对垂直于遥感器运动的方向进行扫描, 扫描的精确性、线性度及平稳性直接影响了成像质量。此外, 光机扫描系统也可作为稳像机构, 对卫星平台振动、地物运动进行一定范围的补偿, 这就更需要高精度的扫描系统。在扫描控制器中, 大多采用低速同步电机、步进电机、无刷直流电机作为控制器的执行部件^[3]。同时为保证扫描精度及线性度, 必须采用闭环控制, 利用光电编码器、旋转变压器、感应同步器等高精度传感器作为位置或速度反馈, 通过控制算法保证高精度的扫描控制^[4]。因此对步进电机、无刷电机等执行部件, 以及旋转变压器、感应同步器等位置传感器的性能的精确测定是高精度光机扫描控制器开发的首要环节。

本文针对目前常用遥感器光机扫描控制器的执行、测角反馈部件, 开发了一套高精度控制器开发测试系统, 用于对扫描系统动力学模型、机电暂态特性, 以及扫描转角测量特性进行精确辨识。同时研制信息集成平台, 在线获取各环节测试信

息, 利用通用控制器快速原型机设计控制系统, 实现对扫描系统参数的快速测试及性能评估, 提高了扫描控制器的研制效率。

1 系统结构

该测试系统由扫描执行部件驱动测试模块, 轴角测量模拟测试模块, 扫描控制器快速原型机开发测试模块与系统集成平台 4 部分组成。其中扫描执行部件驱动测试模块通过测试台上的联轴器及轴承等设备与被测机构的电机相连, 完成电机动力学参数(力矩、转速等)和电特性参数(电压、电流、功率等)的测试, 并将测试结果通过网络交换机发送给系统集成平台; 轴角测量模拟测试模块与被测测角传感器相连, 主要完成旋变参数的模拟和测试。

扫描控制器快速原型机开发测试模块实现了轴角测量、电机驱动和实时操作系统下电机算法的仿真和验证, 根据结果将算法逐步加载到 DSP—FPGA 控制评估卡中, 同时将结果发送到系统集成平台中; 系统集成平台可接收上述 3 个模块的数据, 对以上数据进行处理, 对控制算法进行评估, 通多多次测试迭代, 获取最优控制算法及参数。各个模块间通过网络等进行通信。

其中扫描执行部件驱动测试模块、轴角模拟测试模块采用成熟测试系统, 通过系统集成信息平台进行控制及信息获取。

收稿日期: 2017-12-11; 修回日期: 2018-01-18。

作者简介: 黄刚(1986-), 男, 江苏泰州人, 博士, 主要从事空间遥感器机构控制方向的研究。

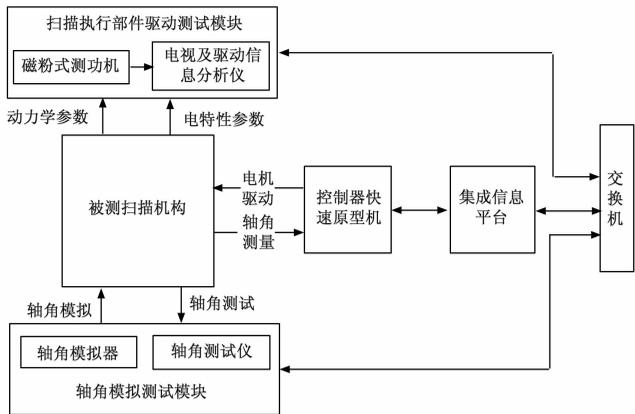


图 1 开发测试系统结构

1.1 扫描执行部件驱动测试模块

扫描执行部件驱动测试模块选用 Magtrol 测功机测试系统作为测试主体方案。其适用于测量交流或直流电机，配合 Magtrol 专用马达测试软件 SW-M-TEST-WE7.0、测功机控制器 DSP7001、电力分析仪 6510e，可以实现以 Ramp、Curve、Manual 等测试方式来测得电机的各项参数，包括：扭力、转速、输出功率、电压、电流、输入功率、功率因数、马力、效率等。该测功机可以进行从空载到堵转的全程测试；最大扭矩测量 5 N·m；测试最高转速为 4 000 rpm；最高功率为 0.5 kW。

测功机系统的互联方式为：将被测电机通过夹具固定安装在测试台面上，电机转轴通过联轴器与测功机相连，电机启动后，测功机将被测电机的力矩、转速和输出功率等信息发送给测功机控制器，控制器将这些信息进行解析并通过仪表显示，同时将数据通过 USB 电缆或 GPIB 电缆发送给控制计算机；电机电源通过电参数仪后为电机提供电源，电参数仪可实现工作电压、电流和功率等参数的实时读取，同时将结果通过 GPIB 电缆发送给控制计算机；控制计算机通过网络交换机将测试结果发送至集成信息平台。

1.2 轴角模拟测试模块

轴角模拟测试模块包括轴角模拟和轴角测试等功能，测试仪主要完成旋变信号的双通道测试功能，在产生旋转变压器激励信号的同时，完成旋变信号的解调功能。模拟器主要作用是对测试仪进行标定，同时在不具备旋转变压器时，模拟产生旋转变压器的信号，送到角度解调电路进行旋变信号测试。

其中测试仪选用的是北大西洋公司的 8810A 型号产品，可自动接收并显示输入电压为 1.0~90 VLL 的信号，并可接受基准电压 2~115 VRMS，频率范围覆盖 47 Hz 到 20 kHz，分辨率 0.000 1°，精度 ±0.004°，并具备自动相位校正功能，可对目前大多感应同步器、旋转变压器进行测试。

模拟器选用的是北大西洋公司的 5330A 型号产品，其利用数字技术进行同步并实现旋转变压器模拟。角度输出 0~360°或 ±180°可调，输出频率范围 47 Hz 到 10 kHz。该装置可模拟在顺时针或逆时针方向上的旋转分量，产生正弦波，三角波或锯齿波输出。输出电压为 1.0~90 VLL，并可接受基准电压 2~115 V，输出功率可达 6 VA/通道，分辨率 0.001°，精度 ±0.003°；可满足感应同步器、旋转变压器模拟要求。

2 快速原型机

快速原型机的主要功能是根据测试信息，设计修改部署扫描系统控制器的参数，包括电机驱动量、位置传感器参数以及闭环控制算法，通过与测试系统的多次测量迭代，获取最优控制方法^[5]。快速原型机基于 PXI 结构设计，采用上位主机 + 实时功能卡的结构。其中，上位主机采用 NI 公司的 PXIe-1042 机箱，其内置背板通过 PCI Express 将各办卡连接在一起，机箱内置定时与同步特性，通过 PXI 的触发总线进行同步，以满足各板卡的同步测试和测量应用的需求。上位机基于 Labview 设计，利用内置控制模块快速搭建控制结构及参数，并通过网络与集成信息平台连接，用于上传控制器信息、获取控制参数^[6-7]。实时功能板卡包括 PXI 驱动控制卡用于驱动电机；PXI 角度解算卡用于解算光电编码器、旋转变压器或感应同步器的角度信息；PXI 控制评估卡通过内部总线与驱动控制卡、角度解算卡连接，运行控制算法，用于对控制算法的实时硬件平台控制效果评估。

2.1 驱动控制卡

PXI 驱动控制卡的主要功能是接收快速控制器上位机或控制评估卡发送的电机控制信号，将前端的原始控制信号转换为电机驱动器能够识别的驱动信号，包括光耦隔离、防死区设计，同时预留三线/232/422 板间连接接口。其原理框图如图 2 所示。

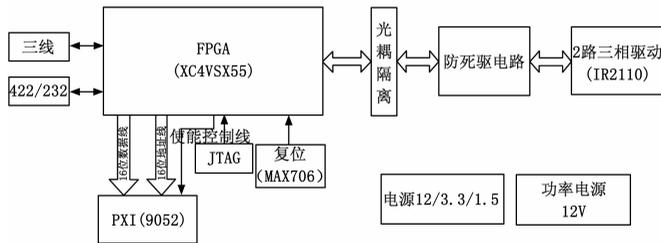


图 2 PXI 驱动控制卡原理框图

本文为适应直流电机的驱动，采用 PWM 的驱动方式，由 FPGA 根据上位机或控制评估卡发送的电机控制信号，例如 PWM 的占空比等信息，生成相应的 PWM 信号，经光耦隔离及防死区电路后送至功率放大电路。功率放大电路由驱动芯片和 MOS 管组成。如图 3 所示为功率放大电路。

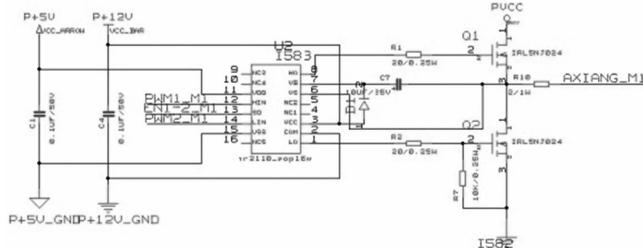


图 3 驱动电路原理图

其中，P+5 V 为数字端电源，P+12 V 为数字端电源为自举电源，PVCC 为功率电源。PWM1_M1、PWM2_M1 为差分 PWM 信号，EN1_2_M1 为使能信号。图中 C7 为自举电容，P+12 V 依次经过 D1 后给 C7 充电，以确保 MOS 管关闭；当 MOS 管导通时，栅极通过 C7 的储能来实现驱动。两组驱动电路可为两相直流电机进行驱动。

