

# 用于高精度太阳敏感器标定的 模拟光源控制系统设计

冯伟昌, 陈家奇

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033)

**摘要:** 为了精确模拟空间太阳辐照方向的变化, 设计了一种以计算机控制为核心的、用于高精度太阳敏感器标定的模拟光源闭环控制系统。由计算机直接控制光电隔离输出卡, 所输出的数字信号经过功率驱动电路和软启动电路后实现模拟光源的开启与关闭, 采用软件方式控制步进电机的转速和转向, 并通过高精度光电编码器实时获取当前的转动角度值, 再经串口通信反馈给计算机, 构成闭环控制系统。标定测量表明: 系统的俯仰角和方位角转动误差均小于  $0.02^\circ$ , 均满足高精度太阳敏感器标定对模拟光源的要求。

**关键词:** 太阳敏感器; 模拟光源; 高精度; 闭环控制

**中图分类号:** V416.5

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-1379(2012)05-0557-04

**DOI:** 10.3969/j.issn.1673-1379.2012.05.016

## 0 引言

太阳敏感器是在航天器上应用最广泛的一类敏感器<sup>[1-2]</sup>, 而数字式太阳敏感器一般用于高精度的航天器姿态控制<sup>[3-4]</sup>, 其定姿精度优于  $0.05^\circ$ 。

太阳敏感器需要在太阳模拟器上完成性能测试标定。为了提高太阳敏感器的标定精度, 对太阳模拟器尤其是其光源的模拟精度提出了更高的要求, 包括与太阳光谱匹配性、均匀性、准直性以及稳定性等<sup>[5-8]</sup>。

针对数字式太阳敏感器, 为了精确模拟空间太阳辐照方向的变化, 本文设计了一种由计算机直接控制的、用于高精度太阳敏感器标定的模拟光源控制系统。

## 1 模拟光源的构成

光源位于椭球镜第一焦面处, 发出的光束经过椭球镜汇聚到第二焦面上; 再由光学积分器投影成像到无穷远, 最后投影到准直物镜的后焦面附近, 形成一个均匀的有效辐照面。太阳敏感器置于固定平台上。模拟光源采用由计算机构成的闭环控制系统进行控制, 可以精确地实现太阳照射在敏感器上俯仰角和方位角的变化, 作为太阳敏感器标定测试的参考输出。

模拟光源的结构组成如图 1 所示。

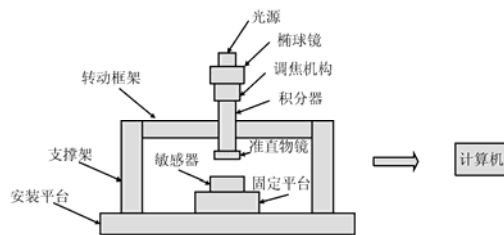


图 1 模拟光源的结构组成

Fig. 1 Block diagram of the solar simulator

## 2 模拟光源的控制原理及其控制系统

### 2.1 控制原理

模拟光源的控制一般分为开环控制和闭环控制。为了提高光源的控制精度, 本文采用了具有反馈环节的闭环控制系统, 其中计算机是整个控制系统的关键部件, 通过植入在计算机上的软件不仅可以灵活地实现各种控制策略, 而且可以实现常规的模拟控制器难以完成的各种复杂控制, 从而可获得更好的控制功能, 系统的控制原理如图 2 所示。

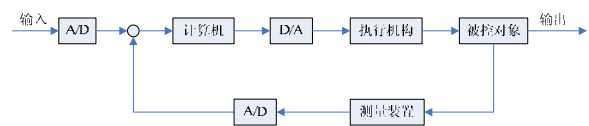


图 2 计算机闭环控制原理图

Fig. 2 Principle diagram of computer closed-loop control system

收稿日期: 2012-04-16; 修回日期: 2012-05-15

基金项目: 国防科工局某技改项目

作者简介: 冯伟昌(1985—), 男, 硕士学位, 主要研究方向为太阳模拟技术及其控制软件设计。E-mail: fengweichangzi@yahoo.cn.

## 2.2 硬件构成及其功能

系统的硬件主要由主控系统、转动系统和反馈系统三大部分组成。其中主控系统包括计算机、显示器和直流电源；转动系统包括光电隔离输出卡、功率驱动电路、软启动电路、卤钨灯、电机驱动器（含方位角、俯仰角驱动）、步进电机和转动机构；反馈系统包括 SSI 数据采集卡、绝对式光电编码器和串口扩展卡。系统的硬件构成如图 3 所示。

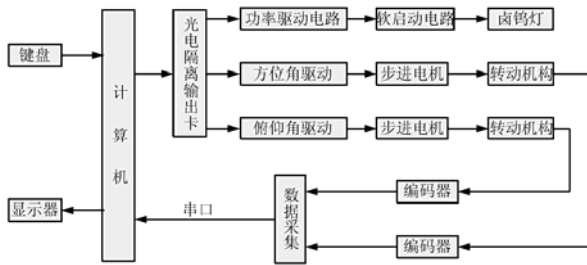


图 3 系统硬件结构组成

Fig. 3 Hardware structure of the system

### 2.2.1 主控系统

1) 计算机在整个系统中起核心作用，负责数据的传输、运算、处理和逻辑判断；

2) 显示器可实时显示模拟光源当前的俯仰角、方位角和开关状态；

3) 直流电源分别给卤钨灯、电机驱动器和 SSI 数据采集卡、光电编码器提供 12 V、24 V、5 V 电压。

### 2.2.2 转动系统

1) 光电隔离输出卡由计算机控制输出高低电平信号，用来控制卤钨灯的开关；输出的方向信号与电机驱动器的输入接口相连，控制步进电机实现精确的转动；

2) 功率驱动电路起到增大驱动电流的作用；

3) 软启动电路可使卤钨灯缓慢开启和关闭，以延长其使用寿命；

4) 步进电机的驱动信号为脉冲信号，可由计算机控制光电隔离输出卡按固定周期输出高低电平，以此来模拟脉冲信号<sup>[9]</sup>。

### 2.2.3 反馈系统

1) 光电编码器与转动机构同轴固定，每当转动机构转动一定角度时，编码器的输出也会发生相应变化；

2) 计算机通过串口定时向 SSI 数据采集卡发出读编码器数据指令，实时获取当前的角度值，并显示在计算机图形界面中；

3) 同时将每次读取的数值与设定值进行比较，来控制电机的转动。

## 3 控制系统的软件设计

软件设计采用基于 VS2010 开发平台的 C++ 语言进行程序编制。程序编制采用多线程技术，其中主线程负责控制界面的生成、俯仰角和方位角的输入、模拟光源开关的控制等；辅线程每隔一定时间读取编码器的数值，反馈给计算机以控制电机的精确转动，并实时显示当前的转动角度值。

### 3.1 零位补偿

因为每个太阳敏感器的零位都稍有不同，所以模拟光源的零位与每个敏感器的零位无法保持一致。有效的解决方法是在软件中增加零位补偿措施，每次对太阳敏感器进行标定测试时首先进行归零处理，即计算两者的零位差值，得到被测太阳敏感器的零位补偿值。当输入俯仰角或方位角时，软件自动加入相应的零位补偿值，得到补偿后的转动角度值可作为太阳敏感器的参考输出。

### 3.2 主线程

软件主线程如图 4 所示。

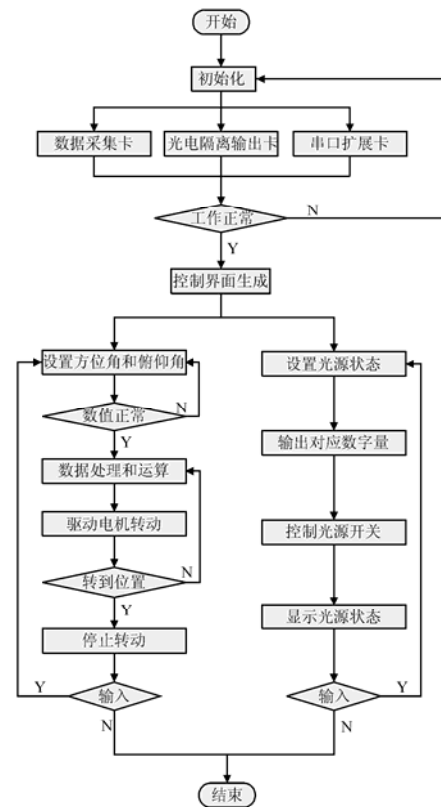


图 4 软件控制的主线程

Fig. 4 Main threads in the software control system

主线程的工作步骤如下:

1) 首先对数据采集卡、光电隔离输出卡和串口扩展卡进行初始化, 成功则生成控制界面, 否则重新初始化;

2) 然后等待输入俯仰角、方位角的数值, 若数值符合要求即在转动范围内, 则计算机对输入的数据进行处理转换成对应的脉冲数, 以驱动步进电机转动;

3) 同时不断读取当前的转动角度值, 并与设定值进行比较, 当二者相差值在控制数值范围之内时, 则发出步进电机的停止转动信号;

4) 同理, 若输入的是光源的开关状态, 则计算机根据输入状态转换成相应的数字量, 控制光电隔离输出卡的输出, 进而控制模拟光源的开关, 并将其状态显示在控制界面中。

### 3.3 辅线程

软件的辅线程如图 5 所示。其工作流程为: 当到达软件设定的时间时, 计算机发送读数据指令, 并读取当前编码器的二进制数据, 经过数据运算转换成相应角度值, 并与设定值比较, 若未超出设定值, 则显示当前角度值; 若超过设定值, 则输出报警信号。

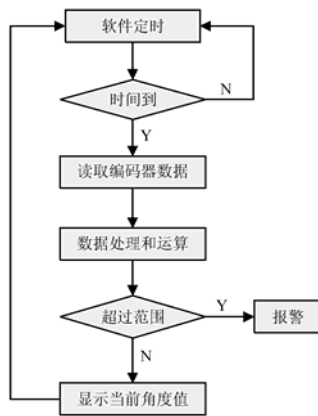


图 5 软件控制的辅线程

Fig. 5 Secondary threads of the software control system

## 4 标定测量及结果

### 4.1 测量方法

俯仰角和方位角的测量装置是经纬仪, 其测量精度为 2"。

以俯仰角测量为例, 将一小块平面镜固定于俯仰转动轴的外侧, 使平面镜可随轴转动, 同时在轴向的垂直方向放置经纬仪<sup>[10]</sup>。首先调整经纬仪使其

十字叉丝对准由平面镜反射的十字像, 记录计算机中显示的当前俯仰角并读取经纬仪的数据; 然后在计算机中输入俯仰角要转过的数值, 控制电机转过一定角度后, 重新对准经纬仪十字叉丝与由平面镜反射的十字像重合, 记录当前的俯仰角和经纬仪的读数; 最后将所测得的两次数据差值与输入角度值相减, 所得的差值即为俯仰轴的转角精度。

### 4.2 俯仰角的测量

分别在 0°、5°、10°、15° 和 20° 附近转动小角度和大角度, 记录系统显示的角度值和经纬仪测得的转动值, 测量结果如表 1 所示。

表 1 俯仰角测量数据

Table 1 Measurement data for elevation angle

当前角度/(°)	输入角度/(°)	转动角度/(°)	实测转动角度/(°)	转动误差/(°)
0	0.68	0.68	0.671 8	+0.008 2
	10.24	10.24	10.230 1	+0.009 9
5	4.38	-0.62	-0.612 4	-0.007 6
	15.96	10.96	10.967 2	-0.007 2
10	10.16	0.16	0.158 7	+0.001 3
	19.20	9.20	9.187 5	+0.012 5
15	15.08	0.08	0.073 2	+0.006 8
	25.86	10.86	10.848 4	+0.011 6
20	19.58	-0.42	-0.410 8	-0.009 2
	10.86	-9.14	-9.133 2	-0.006 8

### 4.3 方位角的测量

方位角的测量方法类似于俯仰角的测量, 测量结果如表 2 所示。

表 2 方位角测量数据

Table 2 Measurement data for azimuth angle

当前角度/(°)	输入角度/(°)	转动角度/(°)	实测转动角度/(°)	转动误差/(°)
0	0.56	0.56	0.570 8	-0.010 8
	10.98	10.98	10.990 4	-0.010 4
5	5.45	0.45	0.443 8	+0.006 2
	14.68	9.68	9.672 6	+0.007 4
10	9.42	-0.58	-0.570 8	-0.009 2
	19.74	9.74	9.750 5	-0.010 5
15	15.40	0.40	0.410 2	-0.010 2
	24.66	9.66	9.669 8	-0.009 8
20	20.29	0.29	0.300 2	-0.010 2
	10.12	-9.88	-9.872 4	-0.007 6

## 5 结束语

本文设计了一种由计算机直接控制的、用于高精度太阳敏感器标定的模拟光源控制系统, 能精确地模拟太阳辐照俯仰角和方位角的变化, 作为太阳

传感器标定测量的参考输出。标定测量表明：系统工作稳定可靠，俯仰角和方位角的最大转动误差分别为  $0.0125^\circ$  和  $0.0108^\circ$ ，均小于  $0.02^\circ$ ，满足高精度太阳传感器对模拟光源的要求。

#### 参考文献 (References)

- [1] 何丽, 胡以华. 太阳传感器原理技术发展浅析[J]. 传感器世界, 2006(1): 12-14  
He Li, Hu Yihua. The principium and developing direction of the sun sensors[J]. Sensor World, 2006(1): 12-14
- [2] 刘洪波. 太阳模拟技术[J]. 光学精密工程, 2001, 9(2): 177-181  
Liu Hongbo. Solar simulation technology[J]. Optics Precision Engineering, 2001, 9(2): 177-181
- [3] 王恩宏, 胡以华, 刘伟. 数字式太阳姿态传感器抗干扰特性研究[J]. 红外技术, 2007, 29(4): 218-221  
Wang Enhong, Hu Yihua, Liu Wei. Study on characteristics to eliminate the disturbance of digital sun sensor[J]. Infrared Technology, 2007, 29(4): 218-221
- [4] 屠斌杰, 韩柯, 王昊, 等. 大视场数字式太阳传感器设计[J]. 传感技术学报, 2011, 24(3): 336-341  
Tu Binjie, Han Ke, Wang Hao, et al. Design of digital sun sensor with large field[J]. Chinese Journal of Sensor and Actuators, 2011, 24(3): 336-341
- [5] 高雁, 刘洪波, 王丽. 太阳模拟技术[J]. 中国光学与应用光学, 2010, 3(2): 104-111  
Gao Yan, Liu Hongbo, Wang Li. Solar simulation technology[J]. Chinese Journal of Optics and Applied Optics, 2010, 3(2): 104-111
- [6] 刘超博, 张国玉. 太阳模拟器光学系统设计[J]. 长春理工大学学报: 自然科学版, 2010, 33(1): 14-17  
Liu Chaobo, Zhang Guoyu. The optical design of the solar simulator[J]. Journal of Changchun University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2010, 33(1): 14-17
- [7] 李刚, 周彦平. 卫星仿真测试用太阳模拟器和地球模拟器设计[J]. 红外技术, 2007, 29(5): 283-287  
Li Gang, Zhou Yanping. Design of solar simulator and earth simulator for satellite attitude simulation[J]. Infrared Technology, 2007, 29(5): 283-287
- [8] 韩吉祥. 关于太阳模拟器电源的理论和实践[J]. 航天器环境工程, 2003, 20(3): 7-18  
Han Jixiang. Theory and practice of power supply used in solar simulator[J]. Spacecraft Environment Engineering, 2003, 20(3): 7-18
- [9] 刘亚东, 李从心, 王小新. 步进电机速度的精确控制[J]. 上海交通大学学报, 2001, 35(10): 1517-1520  
Liu Yadong, Li Congxin, Wang Xiaoxin. Precise control of step motor speed[J]. Journal of Shang Hai Jiao Tong University, 2001, 35(10): 1517-1520
- [10] 张国玉, 刘淑红, 王凌云, 等. 移动式太阳模拟器控制系统研究[J]. 长春理工大学学报: 自然科学版, 2009, 32(1): 1-3  
Zhang Guoyu, Liu Shuhong, Wang Lingyun, et al. Research on the control system for the moving sun simulator[J]. Journal of Changchun University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2009, 32(1): 1-3

## The design of solar simulator control system for high precision solar sensor

Feng Weichang, Chen Jiaqi

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

**Abstract:** In order to simulate the direction change of the solar light in space, a computer control system of the solar simulator for high precision solar sensors is developed. The photoelectric isolation card of the computer control system outputs digital signals directly to turn on or off the solar simulator light source by the power drive and the soft start circuit, to control the step motor's direction and speed by software, to obtain the current angle values by a high precision photoelectric encoder, then to feed back to computer to complete a closed-loop system. The experiment results show the rotational errors for the elevation angle and the azimuth angle are both less than  $0.02^\circ$ , which can satisfy the high precision requirements of solar sensors.

**Key words:** sun sensor; simulating light source; high precision; closed-loop control