

文章编号 1004-924X(2007)10-1503-06

光学成像遥感器调焦控制电路仿真测试

胡君, 吴伟平

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要:提出了一种利用数据采集卡和计算机仿真技术检测和监控光学遥感器调焦控制电路的方法。通过对调焦控制电路的理论分析和实际测量,以数理逻辑、信息技术和系统技术为基础,构造了频率检测、电压检测、编码器反馈的仿真测试数学模型。应用计算机高速信息采集和智能控制技术,设计了调焦控制电路的仿真及测试系统,并进行了实验研究。实验结果表明,该系统能够准确测量工作频率在 1.2 kHz 以内,控制电压 <40 V 的调焦控制电路,完全满足对光学成像遥感器调焦控制电路的仿真及检测要求,并可长时间、方便、高效地监控调焦控制电路的工作运行情况。

关键词:光学遥感器;调焦控制电路;仿真测试

中图分类号:TP732 文献标识码:A

Testing and simulation of focusing circuit of optical remote sensor

HU Jun, WU Wei-ping

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

Abstract: A new method using the data sampling card and simulation technology was given to test the focusing circuit of an optical remote sensor. By analyzing the theory of focusing circuit and measuring the circuit practically, the mathematic models were established for testing the focusing circuit and feeding back the value of the coder based on symbolic logic, information technology and system technology. Using the high-speed disposal and the intelligent control with PC, the testing system for focusing circuit was developed. The experimental results show that the system can exactly test the focusing circuit with work frequency less than 1.2 kHz and control voltage less than 40 V. It can satisfy the requirements for testing and simulation of focusing circuit of optical remote sensor, and the testing system can also automatically monitor the focusing circuit for a long period.

Key words: optical remote sensor; focusing circuit; testing and simulation

1 引言

遥感卫星上使用的光学成像遥感器在气象、

测地、军事、地球资源勘测等领域发挥着重要作用。光学成像遥感器的成像质量直接关系到遥感卫星的应用目标,因此,保证光学成像遥感器的成像质量,使得遥感器光学镜头焦距永远处在最佳

的摄像范围,是获得高清晰度图像的重要环节。通常遥感卫星的飞行是以地心为原点的球形轨迹,由于地球是椭球形,加上地球表面陆地高度的差距较大,因此要求成像遥感器随着遥感卫星飞行在不同区域,根据距离地面高度、偏航角度和倾斜角的不同自动实时调整光学镜头焦距。因而,能否按遥感卫星给出的指令准确调整遥感器光学镜头焦距,是遥感卫星能否完成遥感观测的关键。

光学遥感器是遥感卫星的重要组成部分,同时又是遥感卫星有效载荷的核心。因此,成像遥感器镜头焦距调整控制电路是实现遥感卫星应用目标的关键组成部分。为了确保遥感器成像的质量,通过对调焦控制进行全面系统的测试以充分暴露调焦控制的设计及工艺缺陷,如调焦电控信号的幅值、脉冲宽度、误差和稳定性等。目前的检测设备和仪器(如示波器等),还不能实现对遥感器镜头焦距控制电路长时间实时监控与测试,并难以处理、分析和存储大量的测试数据。因此,急需一套对光学成像遥感器镜头调焦控制电路进行仿真测试的专用系统,弥补调焦控制电路检测的不足,达到有效地检测遥感器镜头调焦控制电路可靠性的目的。

2 调焦控制仿真原理

2.1 调焦控制的结构及组成

光学镜头调焦控制基本结构如图 1 所示,它由微处理器、控制模块、光耦、功率放大器、步进电机、编码器、RS422 串行接口电路、传动机构和光学镜头等组成。其中微处理器、控制模块、光耦和功率放大电路形成基本的“调焦控制电路”;步进电机、绝对式光电编码器和 RS422 串行接口电路形成“调焦驱动系统”;机械传动机构和光学镜头组件构成“光学镜头机械执行机构”。

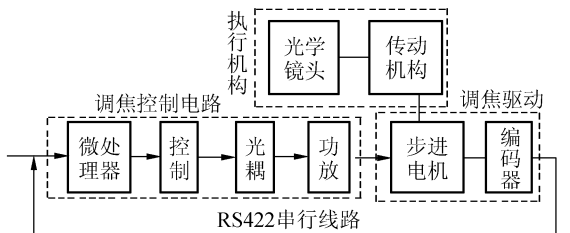


图 1 光学镜头调焦控制基本结构

Fig. 1 Focusing construction of optic lens

卫星有效载荷控制系统,根据卫星导航系统给出的当前轨道的方位、高度、速度和倾斜角度等信息,实时向光学镜头调焦控制系统发布命令和参数,调焦控制电路经接收、识别和计算处理后,控制步进电机转动相应角度,带动光学镜头机械执行机构,完成一次调整焦距的任务。同时读出与步进电机同轴相连的绝对式光电编码器上的角度值,把当前光学镜头的实际调焦角度反馈给调焦控制电路,形成闭环与开环相结合的复合控制方法。

2.2 调焦控制仿真测试设计

计算机仿真(Computer Simulation, CS)集成了计算机技术、图形图像技术、自动控制技术等多学科高技术,并以数学理论、相似原理、信息技术、系统技术及应用领域有关的专业知识为基础,以计算机和各种物理效应设备为工具^[1],利用系统模型对实际的或设想的系统进行综合研究。在光学镜头调焦控制仿真电路中,充分运用了 CS 技术,详细分析光学镜头调焦控制原理,构造了仿真设计原理模型和数学模型。光学镜头调焦控制电路仿真测试系统设计模型如图 2 所示,虚线框内是计算机仿真测试系统的组成,其中测试针对的步进电机,可以实现二相~五相的各种步进电机的配线形式。

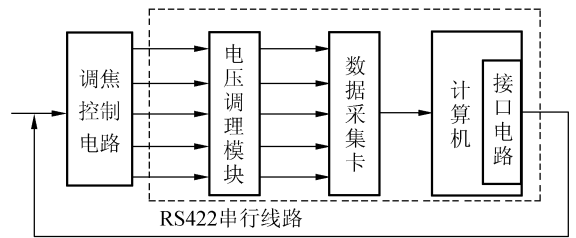


图 2 调焦控制电路仿真测试系统模型

Fig. 2 Testing model of focusing circuit

调焦控制电路依据卫星有效载荷控制系统发送的命令,实时接收相机控制器发送的调焦参数或光电编码器控制系统的反馈值,经处理后,依据步进电机的工作方式分五路(或二路、四路)控制信号输出。根据设计要求不同,步进电机其电压可能不同,通常采用 15~32 V 电压,而标准的数据采集卡,通常的输入电压在±10 V 以内,因此需要增加电压调理电路。计算机将接收的调焦控制电路输出信号进行分析、处理、存储和显示;同

时仿真编码器把目前光学镜头所应该处于的焦距位置按 RS422 串行通讯协议规定的格式反馈给调焦控制电路的微处理器,从而达到测试调焦控制电路的目的。

3 调焦控制电路仿真测试模型

3.1 仿真对象分析

根据光学镜头调焦控制仿真测试系统设计模型,测试对象是电机控制驱动信号,仿真对象是与电机同轴的绝对式光电编码器。计算机通过分析控制电路输出信息,仿真光电编码器的功能,输出步进电机的角度值。五相步进电机控制信号与转向的关系如表 1 所示。当调焦控制电路发送一组控制信号(A、B、C、D、E)时,经数据采集卡对收到的每路的数字值进行逻辑分析与判别,根据连续接收的两组控制信号,即可确定电机旋转方向,同时能够检测出错误信号组。正方向编码状态为 01H、03H、02H、06H、04H、0CH、08H、18H、10H、11H;反方向编码状态为 11H、10H、18H、08H、0CH、04H、06H、02H、03H、01H。通常在步进电机不加细分或减速比的情况下,每个脉冲对应步进电机的一个步距角值是固定的。

表 1 步进电机转向与脉冲对应关系

Tab.1 Function of turn around and pulse of stepping

		正转 →									
通电状态	A	AB	B	BC	C	CD	D	DE	E	EA	
A	→	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
B	→	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
C	→	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
D	→	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
E	→	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
状态编码		01H	03H	02H	06H	04H	0CH	08H	18H	10H	11H
		反转 ←									

3.2 仿真测试数学模型

3.2.1 频率检测

对脉冲信号进行固定频率的高速采样,根据每个脉冲时间间隔内采样计数计算实际脉冲频率。设每个有效电平被采样次数为 N (采样频率不失真需 $N \geq 5$),步进电机标准脉冲频率为 K ,则步进电机的实际脉冲频率为:

$$K' = \frac{K_0 \times m}{N_{all} \times G}, \quad (1)$$

式中, K_0 为采集卡频率; m 为步进电机连续工作的 t 时间内实际测得的脉冲数; N_{all} 为实际测得全部高电平采样数; G 为电机相位数(五相电机 G 为 5)。设允许频率最大误差 ΔK ; 当 $|K' - K| > \Delta K$ 时,调焦控制电路出现故障,计算机将错误记入日志,并在计算机上显示 K 、 K' 、 ΔK 、 m 、 N_{all} 和 G 等信息。

设在时间 t 内连续发出脉冲数为 m 个,在连续脉冲开始时可能少计一次上升沿,或者在其结束时多计一次上升沿,即测量脉冲为第 m 个时,实际值可能为 $m - 1$ 个或 m 个或 $m + 1$ 个。显然,时间 t 越大系统误差越小,当经常处于短时间调焦状态时,需要考虑由于经常启动及停止而造成的误差量,而针对较长时间连续控制脉冲进行误差分析,测试系统可以给出更加精确的电机频率检测结果。

3.2.2 电压检测

设输出脉冲高电平标准电压值 V_H , 低电平标准电压值为 V_L ; 允许误差为 ΔV 。每个脉冲结束时,由该脉冲高低电平采样点的平均值分别求得测量电压 V_{Hmeas} 、 V_{Lmeas} 。当 $V_H - \Delta V \leq V_{Hmeas} \leq V_H + \Delta V$ 且 $V_L - \Delta V \leq V_{Lmeas} \leq V_L + \Delta V$ 时,显示该电压值并记录; 否则,确定为电压异常,显示报警信息,并将 V_{Hmeas} 、 V_{Lmeas} 记入错误日志。

3.2.3 仿真反馈

根据调焦控制单元的工作原理及光学镜头调焦控制仿真设计原理,给出了调焦反馈值的数学计算公式:

$$P_{os} = X_0 \pm \frac{S_a}{S_{ub} \cdot D_s} P_m, \quad (2)$$

式中, P_{os} 为转换后的反馈角度值; X_0 为初始角度; S_a 为步距角; S_{ub} 为单步细分数,当无细分数,标准值为 1; D_s 为调焦减速比; 其中调焦减速比为 $m : 1$; P_m 为初始到计算反馈值的时间内所收到的脉冲数,每圈为 $360 / (S_a / S_{ub})$, 由于调焦减速比为 $m : 1$, 所以绝对编码器在 360° 行程范围内步进电机的脉冲数最多为 $360 \times m / S_a$ 个, 即 $P_m \leq \frac{360}{S_a} m$ 。

4 调焦控制电路仿真测试实现

4.1 调焦仿真测试信息采集

计算机和数据采集卡是整个系统的核心部件,数据采集卡的采集速度、误差和计算机处理能力直接影响系统测试结果的准确性。根据步进电

机 1 k 的工作频率和采样点 $N \geq 5$ 的要求, 数据采集卡应具有 25 kHz 以上的采样频率。因此, 采用 100 kHz 采样速率的 PCI-1713 数据采集卡 (以下简称采集卡), 可以通过编程设置 100 kHz 内任意采样速率。

采集卡提供了 4 kb 的板载缓存空间, 分为前后缓存区 (每个缓存区 2 kb), 以单缓存区满为标志引起中断。其基本工作时序如图 3 所示, 设 M 为采集数据时间, P 为计算机数据预处理及记录时间, 当选通采样时, 在计算机软件的控制下, 采集卡先将采样信息存入“前 2 kb 缓存区 (M_1)”, 当“前 2 kb 缓存区”满产生中断时, 计算机读取采样信息并进行数据预处理及记录 (P); 同时采集卡将采集到的信息存入后 2 kb 缓存区 (M_2)。当计算机将前 2 kb 缓存区采样信息读取完毕后, 将前 2 kb 缓存区清空。当后 2 kb 缓存区满产生中断时, 采样信息存入前 2 kb 缓存区 (M_1)。如此循环往复。为保证系统的长期稳定运行, 要求数据预处理的时间是采集信息时间的一半以内, 即 $M/2 \geq P$, 以免干扰数据的正常采集。

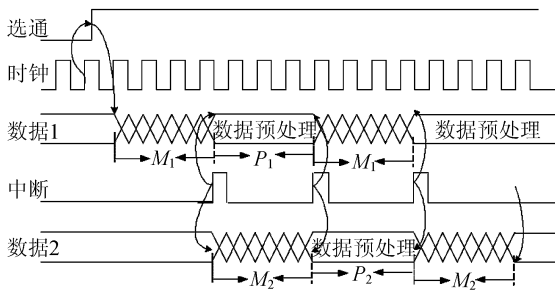


图 3 数据采集时序示意图

Fig. 3 Sketch of sampling data scheduling

4.2 调焦仿真测试软件

4.2.1 软件结构

调焦仿真测试系统的软件结构采用模块化设计, 如图 4 所示。其中, 采集控制模块是系统的核心, 包括数据采集、数据预处理、数据存储和数据的传输控制。数据分析模块主要对数据进行逻辑分析, 给出方向、频率和幅度的判断结果。测试监控模块实时监控系统状态。反馈控制模块完成本次调焦工作, 把当前调焦位置等参数通过串行方式发送给调焦控制电路。数据库管理模块管理调焦仿真测试的数据、参数和错误信息等。

系统应用 VC++ 语言进行开发, 采用面向

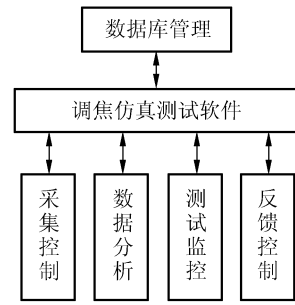


图 4 仿真测试软件结构

Fig. 4 Construction of testing software

对象的软件设计方法, 应用 MS SQL Server 作为后端数据库。

4.2.2 仿真测试控制软件

数据采集时序中的“数据预处理”中断程序流程如图 5 所示, 预处理只进行必要的的数据整理和

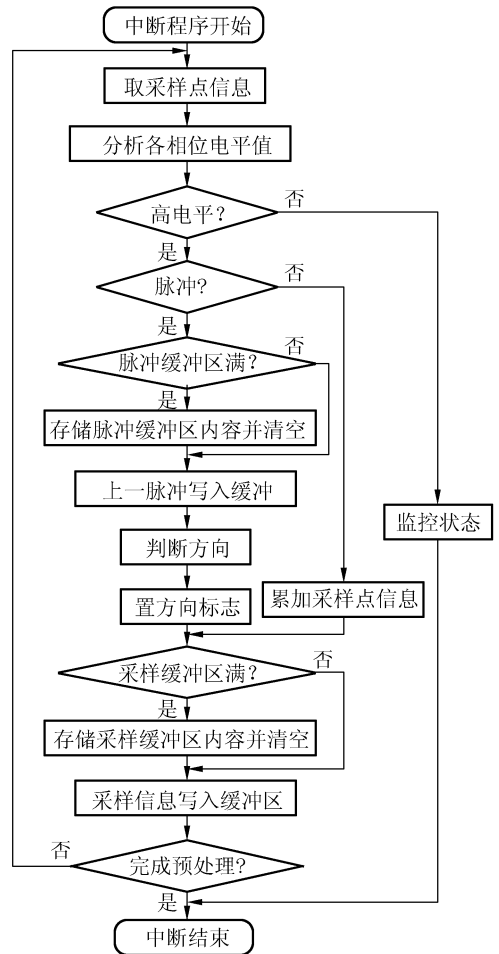


图 5 数据预处理流程

Fig. 5 Program flow char of data pretreatment

信息记录。其中“脉冲?”判断框表示上一个脉冲(每个脉冲的采样点个数依据系统精度的需要确定)是否结束,若结束,表示新的脉冲已经到来。系统记录的信息主要包括脉冲信息和采样点信息。脉冲信息包括该脉冲的 ID 号、幅值、记录时间、采样数和转向;采样点信息包括采样 ID,电平值和相位。为减少预处理时间,记录这两种信息均采用缓冲区写入方法,缓冲区应大于每次中断需处理的数据量,使得一次中断处理最多执行一次写数据库操作。数据采样时,系统只做预处理操作,停止采样后,系统进行数据分析,向用户显示检测出的脉冲个数、幅值、方向和频率等信息。

数据分析程序是根据硬件电器规范检测数据文件,将发现的错误写入错误日志,供用户查询。若数据文件中记录的旋转方向与控制电路中的设置不同,或出现了错误的脉冲相位组合,均认为发生了方向错误;由于对任意固定的脉冲频率,采样点的个数是相同的,若脉冲的实际采样点数不等于该频率的正确值,则认为发生了频率错误;若采样得到的电压值不在规范允许的误差范围内,则认为发生了幅值错误。

5 仿真测试结果

调焦仿真测试系统运行在 CPU 频率为 3.4 GHz,内存为 512 Mb 的测试环境中;其预处理与采样时间的实验结果比较如表 2 所示,采用缓冲写入的方法会极大地缩短预处理的时间。当缓冲区 > 2 kb 时,预处理时间 < 1 ms。在实验中,采用四相八拍电机驱动电路对仿真测试系统进行应用检测,部分检测结果如表 3 所示,从表中可见高电平均接近设定值 15 V。采样检测数据表征了系统频率稳定性和转向判断准确性。

表 2 预处理与采样时间比较

Tab. 2 Contrast of data pretreatment and sampling time

预处理	数据 (2 kb)	数据 (3 kb)	数据 (4 kb)
无缓冲时间(ms)	2 344	3 578	4 860
0.5 kb 缓冲时间(ms)	16	31	36
1 kb 缓冲时间(ms)	<1	5	11
2 kb 缓冲时间(ms)	<1	<1	<1
采样时间(ms)	40	60	80

表 3 实验检测结果

Tab. 3 Testing results

脉冲 ID	检测时间	A 相幅值(mV)	B 相幅值(mV)	C 相幅值(mV)	D 相幅值(mV)	采样数	转向	采样 ID
1	2007-3-6 16:54:02	14 764	644	584	624	5	未知	1
2	2007-3-6 16:54:02	14 704	14 824	544	564	5	正向	6
3	2007-3-6 16:54:02	624	15 000	564	700	5	正向	11
4	2007-3-6 16:54:02	624	14 784	14 684	584	5	正向	16
5	2007-3-6 16:54:02	680	700	14 960	740	5	正向	21
6	2007-3-6 16:54:02	624	448	14 804	14 784	5	正向	26
7	2007-3-6 16:54:02	564	468	504	14 568	5	正向	31
8	2007-3-6 16:54:02	14 704	564	488	14 724	5	正向	36
9	2007-3-6 16:54:02	14 804	680	624	664	5	正向	41
10	2007-3-6 16:54:02	14 744	14 860	584	604	5	正向	46
11	2007-3-6 16:54:02	584	14 960	524	664	5	正向	51
12	2007-3-6 16:54:02	604	14 764	14 664	564	5	正向	56
13	2007-3-6 16:54:02	644	864	14 920	700	5	正向	61
14	2007-3-6 16:54:02	644	468	14 824	14 804	5	正向	66
15	2007-3-6 16:54:02	624	524	564	14 628	5	正向	71
16	2007-3-6 16:54:02	14 744	604	524	14 764	5	正向	76
17	2007-3-6 16:54:02	14 744	624	564	604	5	正向	81
18	2007-3-6 16:54:02	14 724	14 840	564	584	5	正向	86
19	2007-3-6 16:54:02	584	14 960	524	664	5	正向	91
20	2007-3-6 16:54:02	604	14 764	14 664	564	5	正向	96
21	2007-3-6 16:54:02	624	644	14 900	680	5	正向	101
22	2007-3-6 16:54:02	624	448	14 804	14 784	5	正向	106

6 结 论

本系统已经在国家重大工程项目中得到应用,准确地测量了频率小于 1.2 kHz 且控制电压

在 40 V 以内的调焦控制电路,满足对光学遥感器调焦控制电路的仿真测试要求,并可长时间闭环监控调焦控制电路的运行情况。若提高数据采集卡的速度,就可以对更高频率的调焦控制电路进行仿真测试。

参考文献:

- [1] 何江华,郭果敢. 计算机仿真与军事应用[M]. 北京:国防工业出版社,2006.
HE J H, GUO G G. *Computer Simulation and Martial Application* [M]. Beijing: National Defence Industry Press,2006. (in Chinese)
- [2] 易大义. 计算方法[M]. 杭州:浙江大学出版社,1999.
YI D Y. *Numerical Method* [M]. Hangzhou: Zhejiang University Press,1999. (in Chinese)
- [3] KRUGLINSKI D J. Visual C++ 技术内幕[M]. 北京:清华大学出版社,2001.
KRUGLINSKI D J. *Visual C++ Technology Inside* [M]. Beijing: Tsinghua University Press,2001. (in Chinese)
- [4] 刘建芳,杨树臣,杨志刚,等. 新型压电精密步进旋转驱动器研究[J]. 光学 精密工程,2006,14(4):594-601.
LIU J F, YANG SH CH, YANG ZH G, *et al.*. Study on precision PZT rotary step actuator with inner anchor/loosen[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006,14(4): 594-601.
- [5] 夏长亮,史婷娜,陈永校. 四相双 4 拍永磁爪极步进电机稳态运行仿真[J]. 微电机,2001,34(4):9-11.
XIA CH L, SHI T N, CHEN Y X. The steady state simulation of 4-phase double-four step claw pole permanent magnet stepping motor[J]. *Micromotors*,2001,34(4):9-11. (in Chinese)
- [6] 邓家先. 基于重要系数提升的遥感图像压缩[J]. 光学 精密工程,2006,14(5):910-916.
DENG J X. A remote-sensing image coding algorithm based on significant coefficients lifting[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006,14(5):910-916. (in Chinese)
- [7] 费业泰. 误差理论与精度分析[M]. 北京:机械工业出版社,2001.
FEI Y T. *Error Theory and Precision Analysis* [M]. Beijing: Mechanic Industry Press,2001. (in Chinese)

作者简介:胡 君(1952—),男,吉林蛟河人,中国科学院长春光学精密机械与物理研究所高级工程师,硕士生导师,主要研究方向为智能控制与信息处理、光机电一体化、CAD 技术应用和测试仿真技术。E-mail:huj@ciomp.ac.cn
吴伟平(1980—),男,吉林长春人,工学硕士,中国科学院长春光学精密机械与物理研究所研究实习员,主要研究方向为智能控制与信息处理。