

某光电系统随动控制部件检测平台设计与分析

孟凡龙¹, 于宝成², 田珂³, 周卓洋²

(1. 中国航空工业集团公司洛阳电光设备研究所, 河南 洛阳 471000;

2. 武汉工程大学计算机科学与工程学院, 武汉 430205;

3. 中国人民解放军驻六一三所军事代表室, 河南 洛阳 471000)

摘要: 随动控制部件是某光电系统的核心部件, 在简要分析了某光电系统的工作原理和随动控制部件的测试需求后, 提出了随动控制部件检测平台的软、硬件设计方案。同时, 为了验证检测平台中的模拟负载的机械结构可靠性和直流电机控制系统的准确性, 采用了 Adams 和 Matlab/Simulink 对模拟负载中的俯仰、方位机构进行了联合仿真。整个检测平台的方案设计和模拟负载的仿真分析对后续平台的搭建提供了很好的理论依据。

关键词: 光电系统; 随动部件; 方位机构; 软硬件设计

中图分类号: TP206 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2016)03-0072-05

Testing Platform Design for Servo Control Unit of an Optoelectronic System and the Performance Analysis

MENG Fan-long¹, YU Bao-cheng², TIAN Ke³, ZHOU Zhuo-yang²

(1. Luoyang Institute of Electro-Optical Equipment, Luoyang 471000, China;

2. School of Mechanical Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430205, China;

3. Military Representative Office of PLA in No. 613 Institute, Luoyang 471000, China;)

Abstract: The servo control unit is the core component of a certain optoelectronic system. Based on analysis to working principle of the optoelectronic system and testing requirements of the servo control unit, we proposed a scheme for design the software/hardware of the testing platform for the control unit. In order to verify the mechanical structure stability of the simulated load and the accuracy of DC motor control system, virtual simulations to the pitch and azimuth mechanism of simulated load were accomplished by using Adams and Matlab/Simulink. The scheme design of the testing platform and the virtual simulation analysis to the simulated load can provide a reliable basis for further study.

Key words: optoelectronic system; servo control unit; azimuth mechanism; software/hardware design

0 引言

随动控制部件是光电系统的核心部件, 顾名思义, 随时可以根据需要进行改变, 使用它就能在光学系统中快速找到目标并进行精确定位。然而, 随动控制系统中包含了大量的插线板和电路板, 这些部件很容易发生损坏, 所以光电系统出厂或检修时, 必须重点检测这些部件。作为光电系统的重要组成部分, 随动控制部件的性能检测是在一定需求的环境下对电子部件的

运转速度和控制精度、电机的自我反馈能力以及自我检查等功能进行的测试^[1]。传统的检测方法, 是电子部件上加载其他检测设备进行检测, 要使用不同的测量仪来测量产生信号的不同参数, 这样检测的数据量很大, 检测起来方法复杂, 效率低, 无法自行测量完好的性能指数, 这些因素导致根本不能达到推出产品的效果。

目前, 随着计算机技术的发展, 基于多领域联合仿真的虚拟样机技术被越来越多地应用于机电系统设计和仿真研究^[2]。开发人员使用联合仿真技术可以在很短的时间里进行模拟仿真, 同时很容易对方案进行修改。在这里专门为控制系统设计了一个检测模块, 检测模块专门设计了硬件和模拟负载, 利用 Adams 来模

收稿日期: 2015-01-09 修回日期: 2016-01-04

基金项目: 国家自然科学基金(61172113)

作者简介: 孟凡龙(1982—), 男, 黑龙江齐齐哈尔人, 工程师, 学士, 研究方向为系统控制。

拟负载的性能,同时使用 Matlab/Simulink 来分析控制模块,从而为检测平台的搭建提供理论依据。

1 检测模块的设计方案

1.1 光电系统简介

光电系统中主要包含随动控制部件、校准部件、气源部件、传感部件、电源部件等,图1所示为光电系统图。其中,传感部件由物镜、视频信号处理机构和扫描机构组成。扫描机构包括消旋机构、俯仰机构及方位机构。气源部件是用来冷却元件的;校准部件是对系统进行校准操作;电源提供所需要的额定电压;物镜通过接收红外信号,将光信息转化为电信息;视频信号处理机构将信号进行分析整理;扫描机构在一定的范围内进行扫描,找到目标;随动控制部件对光信号的输入信息进行处理,同时将信息传递给上位机,上位机回应信息后,根据上位机的要求,输出控制信号,从而保证整个系统处在检测状态。

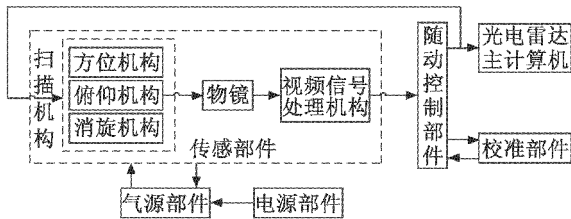


图1 光电系统图

Fig.1 Structure diagram of photoelectric radar

1.2 硬件设计

为了达到对光电系统的检测效果,模块必须能模拟系统中的传感器和计算器,在闭合的情况下能对控制系统进行检测,这些检测有:小区检测、目标确定、截获信息跟踪、检测运行状态、检测光圈变化、检测角度信息、模拟信号输入和大区检测。

为了达到检测要求,模拟传感器可以使用模拟负载来输出信号,从而传递获得的信息。俯仰构造和方向构造由于其特殊性,可以运用空载低速直驱电机对其进行供电,对电机停止状态时加电压产生的转矩分别不能超过 $0.0225 \text{ N} \cdot \text{m}$ 和 $0.0422 \text{ N} \cdot \text{m}$,基于这种原理要设计不同的负载与其匹配,同时对于负载需要不断改变其转动参数。扫描机构中用的是步进电机,可以方便地自动调整参数与转矩匹配。

根据系统特点,可设计出图2所示的检测模块设计方案。检测模块由模拟负载和工业控制计算机组成,能判断错误、检验性能,并对接收到的数据进行修改。

工控机中装有 ARINC429, PCI6509, PCI6259 3 块 PCI 总线板卡,其中,ARINC429 用于发送控制信号和接收反馈信号,PCI6509 用于 I/O 口信号监测,PCI6259 用来匹配接收到的各类数据。设计的负载中专门针对

图1中的方位、俯仰、消旋扫描机构和物镜,这也是和传感器中的部件相对应的。

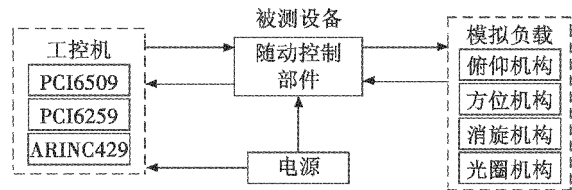


图2 硬件设计方案

Fig.2 Hardware design

除了传感部件,还有随动系统需要检测,把其当作一个完整的部件,可以专门为其检测输出信息,查看当前状态。输出信息检测主要检测频率脉冲信号和较为独立的继电器断开接入对应值,工作状态检测主要检测与具体工作状态有关的控制信号和脉冲频率信号^[3]。

1.3 软件设计

检测模块主要用 LabVIEW 语言编程实现,大致可以分为搜索系统中此时有没有控制信号,检测系统此时是否正处于执行功能的阶段和将数据进行分析推导3个部分^[4]。搜索控制信号,可以从多个方面入手,比如,在随动系统中找,搜索是否有外界电信号,在控制信息中查找等;检测系统此时是否正处于执行功能的阶段,对大环境中扫描器处于哪一个阶段,在小环境中扫描当前阶段,还有检查目标是否被跟踪等;数据分析则是在前两步进行完毕后以列表的形式输出之前的检测信息。

2 模拟负载机械结构设计

根据上文的分析,需要为传感部件设计如图3所示的模拟负载的机械模型。模拟负载的扫描机构需要对其进行角度检测,检测完毕后还需要继续传递信息,其中为满足物镜需要,物镜既要扫描系统得到信息,又要将信息传送给信号处理机构,因此要为其设计两个按钮。

通过前面力矩的分析可知,对传感器中的前两种扫描方法要用电机进行不同的负载匹配,用飞轮模型可以仿真转动参数的变化,飞轮两侧的重量需要两个基座支撑。前两种扫描方法使用的是直驱电机中的低速电机,使用这种电机空转转速低、力矩大,能使用更长的时间,在本文中假设空转的转速为 119.6 rad/s ,电机轴和飞轮材料选用的是 304 钢,其密度为 7930 kg/m^3 ,可以计算出转动惯量为 $J_{\text{电机轴}} = 5.104 \times 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ 。飞轮机构如图4所示。

飞轮在转动过程中转动惯量的算式为

$$J_{\text{飞轮}} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n m_i d_i^2 = \frac{1}{2} \left[\rho \pi L_1 \left(\frac{d_1}{2} \right)^2 + \right]$$

$$\rho\pi L_2\left(\frac{d_2}{2}\right)^2 + \rho\pi L_3\left(\frac{d_1}{2}\right)^2 \quad (1)$$

式中: $J_{\text{飞轮}}$ 为飞轮转动惯量; m_i 为 L_1, L_2, L_3 各部分质量。

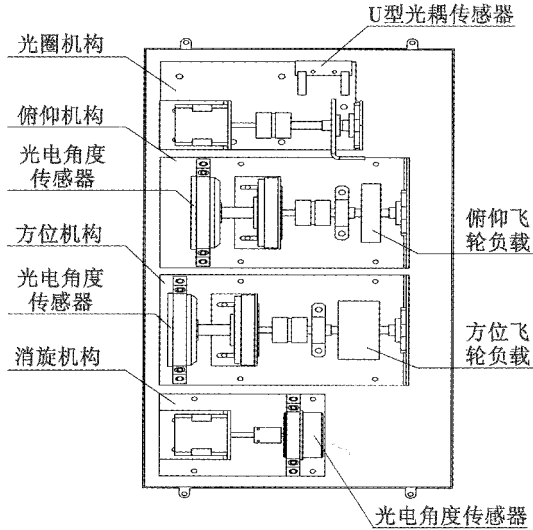


图 3 模拟负载组成结构

Fig. 3 Structure of simulation load

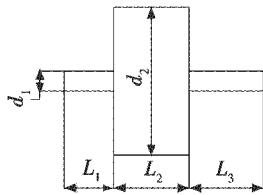


图 4 飞轮机构图

Fig. 4 Model of flywheel

根据启动力矩和转动惯量的关系得

$$T = T_1 + T_2 = (J_{\text{飞轮}} + J_{\text{电机轴}})\varepsilon + T_2 = (J_{\text{飞轮}} + J_{\text{电机轴}})\frac{\omega}{t} + T_2 \quad (2)$$

式中: T 为给停止状态电机电压时产生的力矩; T_1 为受到力矩作用时绕中心轴转动的力矩; ω 为最大转速; t 为时间对应到达最大转速; ε 为角度的加速度; T_2 为现实中由于摩擦力所产生的力矩。

由于飞轮两侧支撑的基座是将球形合金钢珠安装在内钢圈和外钢圈的中间,这种滚动方式降低了摩擦力,所以在本设计中不考虑摩擦力矩。根据式(1)、式(2),在飞轮横轴和纵轴方向上的转动惯量为 $1.83 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ 和 $3.477 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$,因此在横轴和纵轴方向上的飞轮圆盘直径均可取为 60 mm,圆盘厚度可分别取为 14.3 mm 和 30.7 mm。

3 Matlab 与 Adams 的联合仿真

3.1 模拟负载动力学模型的建立

基于之前设计的模拟负载机械结构模型,将模型导入 Adams 时,先对之前的模型计算,如果只考虑简单的运动情况,电机和光电角度传感器作为力矩的输出和检

测仪器可以简化。然后为机构添加相应的约束和驱动,对导入的所有零件分别进行编辑,对材料、质量、转动惯量等属性定义。机械结构模型如图 5 所示。

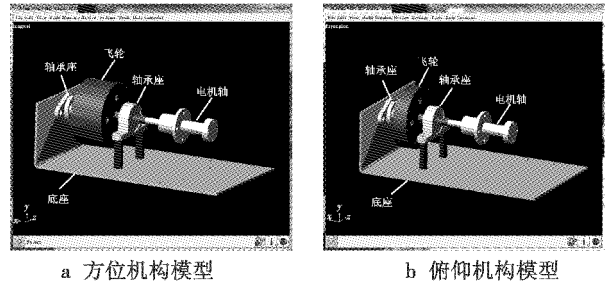
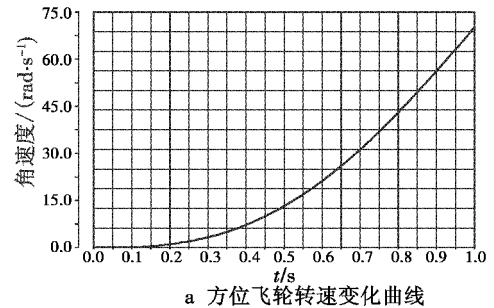


图 5 定义约束后的机械模型

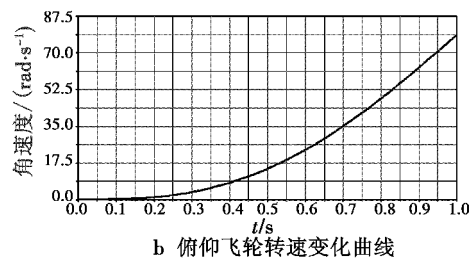
Fig. 5 Mechanic model by defining the constraints

依据设计的要求:方位的启动力矩必须不大于 $0.0422 \text{ N} \cdot \text{m}$,俯仰机构启动力矩必须不大于 $0.0225 \text{ N} \cdot \text{m}$,可以在 Adams 中通过在电机轴转矩添加 step 函数的方式启动力矩,为了验证飞轮在有负载的情况下是否可以通过给定初始力矩达到理想状态,通过加装 step 函数使转矩在 1 s 内到达最大值,从而实现方位机构和俯仰机构的仿真实验。

通过模拟实验,验证给定一定的力,模型在加装飞轮之后转速能否达到理想状态,得到如图 6、图 7 的仿真曲线。



a 方位飞轮转速变化曲线



b 俯仰飞轮转速变化曲线

图 6 飞轮转速变化曲线

Fig. 6 Angular velocity of the model

从图 6、图 7 中可以发现,在理想情况下,没有摩擦力,飞轮转速与启动力矩正相关,实验中,飞轮转速的最大值接近电机理想转速 (119 rad/s) 的 $2/3$,从实验中可知该飞轮模型尺寸达到了设计要求。通过把仿真数据输入到实际产品负载进行运行,Adams 的试验能够真实地反映产品特性。

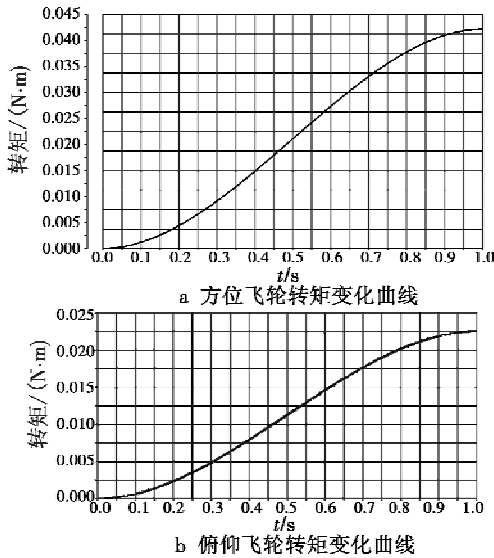


图7 转矩变化曲线
Fig. 7 Torque of the model

3.2 模型直流电机控制系统

在检测平台下,控制系统与光电系统的直流电机是同一型号的电机,性能一致,因此,研究其控制系统模型对实际的光电系统的模型也具有实际的应用价值。

直流电机是在控制系统中将电信息传导为机械运动的主要元件,控制器通过速度指令将数字信号转变为带动直流电机的脉冲信号,通过仿真电机工作把速度信息经过光电角度传感器反映给控制系统。这种直

流电机控制系统如图8所示。

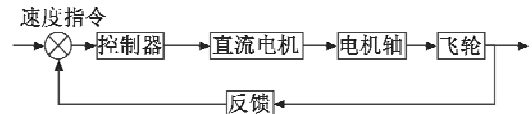


图8 直流电机控制系统框图
Fig. 8 Block diagram of the control system

根据直流电机工作原理,可得电机的传递函数,如图9所示。其中: I, V, L, R 分别是电路中的电流、电压、电感和电阻; M_1 和 M_2 分别为电机轴输出扭矩和电机轴摩擦扭矩; C_1 为电机转矩系数, C_2 为电动势系数; ω 为电机轴的角速度; θ 为电机轴的角位移; J 为电机轴的转动惯量。

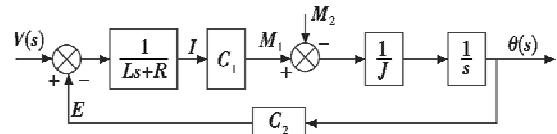


图9 直流电机传递函数

Fig. 9 Block diagram of the control system transfer function

Adams 中可以导出 adams_sub 接口并将该模块嵌入 Matlab/Simulink 模块中,利用 Simulink 模块实现直流电机的 PID 驱动控制模型,如图10所示。该模型的功能是进行飞轮偏角位置跟踪,在模型中定制了飞轮偏转信号,Admas_sub 能够测出飞轮在仿真中产生的期望偏角位移,通过该值的输出,反馈出 Adams 的运动控制。

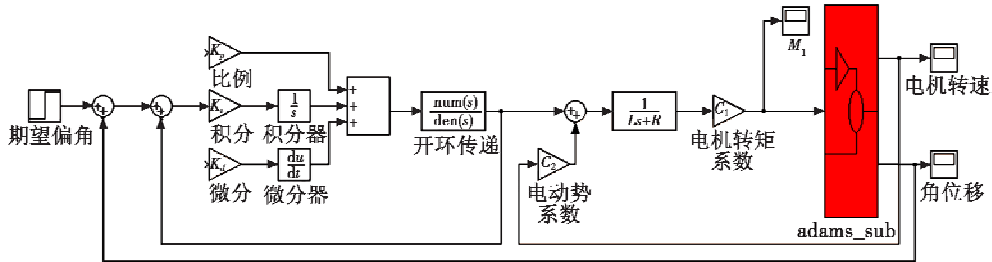


图10 直流电机控制系统模型
Fig. 10 Control system model

模拟负载动力学模型、直流电机控制系统模型设计完成后,即可通过 Adams 和 Simulink 联合仿真来确定直流电机控制系统模型的控制参数^[5]。为使仿真模型接近实际模型,需要将仿真数据与实测数据进行比较。期望偏角参数的实现需要通过仿真的反复验证,首先基于实际系统制定机构转动角度指标,之后通过反复对参数的更改和试验,直至直流电机模型满足规定要求。使用上面的测试方法,使直流电机模型的数据测试接近于实际的测试数据,这个结果反映了虚拟样机模型的正确性。如图11所示,当控制参数的期望偏角设为 10° 时,可以得到其对应的数据。

由以上的仿真实验可以看出,直流电机的飞轮能

在较短时间内改变自己的位置状态,由开始的水平位置上升,短短 0.4 s 就达到峰值,在 0.6 s 后保持 0.17 rad 的转速不变,即与给定的期望偏角 10° 处相对应,从这个实验可以看到该控制系统实现了快速、精确的位置控制。

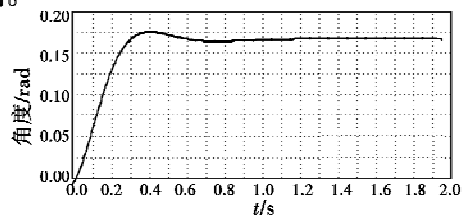


图11 飞轮角度变化曲线
Fig. 11 Angle of the model

4 结语

光电系统的核心部件是随动控制部件,该部件的接口信号又包括 3 种编码信号,即符合特定格式的编码信号、开关量控制信号和频率脉冲信号,即本文设计了能够模拟扫描机构和物镜的模拟负载,利用数学模型为模拟负载中各机构的设计提供理论依据,通过联合仿真对模拟负载中方位、俯仰机构设计尺寸和动态特性进行验证,同时,通过 LabVIEW 编程语言实现了待测数据的采集和分析,通过以上工作构建了整个检测平台。

参 考 文 献

- [1] 郑国锋,于劲松,刘浩. 基于 PXI 总线的光学雷达自动测试系统研制[J]. 计算机测量与控制,2010,18(5):1095-1096,1120. (ZHENG G F, YU J S, LIU H. Design of automatic test system for optic radar based on PXI bus virtual instrument [J]. Computer Measurement & Control, 2010, 18(5):1095-1096, 1120.)
- [2] 郑黎明,黄剑波. 基于 Adams 和 Simulink 的太阳跟踪器联合仿真[J]. 光学精密工程,2014,22(5):1212-1219. (ZHENG L M, HUANG J B. Co-simulation of Solar tracker based on Adams and Simulink [J]. Optics and Precision Engineering, 2014, 22(5):1212-1219.)
- [3] 马如奇,赫双晖,郑伟峰. 基于 MATLAB 与 Adams 的机械臂联合仿真研究[J]. 机械设计与制造,2010(4):93-95. (MA R Q, HAO S H, ZHENG W F. Research on coordinated simulation of robot arm based on MATLAB and Adams [J]. Machinery Design & Manufacture, 2010(4):93-95.)
- [4] 蒿思哲,秦现生,汤军社. 基于 LabVIEW 的高精度转动惯量测控系统设计[J]. 测控技术,2014,33(7):69-72,75. (HAO S Z, QIN X S, TANG J S. Measurement and control system design of high-precision rotational inertia based on LabVIEW [J]. Measurement and Control Technology, 2014, 33(7):69-72, 75.)
- [5] 邹丽娟. 基于 Matlab/Simulink 的测量雷达伺服系统的仿真方法[J]. 现代雷达,2004,26(8):64-67. (ZOU L J. Simulation method of servo of instrumentation radar with Matlab/Simulink [J]. Modern Radar, 2004, 26(8):64-67.)
- (上接第 58 页)
- [9] PIRACCI E G, PETROCHILOS N, GALATI G. Super-imposed mode S signals; single-antenna projection algorithm and processing architecture [C]//IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology, IEEE, 2007:166-170.
- [10] PETROCHILOS N, GALATI G, PIRACCI E. Separation of SSR signals by array processing in multilateration systems [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2009, 45(3):965-982.
- [11] PETROCHILOS N, GALATI G, PIRACCI E. Projection techniques for separation of multiple secondary surveillance radar sources in a real environment [C]//The Fourth IEEE Workshop on Sensor Array and Multichannel Processing, IEEE, 2006:344-348.
- [12] RTCA. DO-260B Minimum operational performance standards for 1090 MHz extended squitter automatic dependent surveillance-broadcast (ADS-B) and traffic information services-broadcast (TIS-B) [S]. Washington: RTCA, 2009.
- [13] PETROCHILOS N, GALATI G, PIRACCI E. Application of array processing to receiving stations of multilateration systems based on SSR signals [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2008, 45(2):965-982.
- [14] ZHOU M, van der Veen A J. Improved blind separation algorithm for overlapping secondary surveillance radar replies [C]//The 4th IEEE International Workshop on Computational Advances in Multi-Sensor Adaptive Processing (CAMSAP), IEEE, 2011:181-184.
- [15] PETROCHILOS N, VAN DER VEEN A J. Algorithms to separate overlapping secondary surveillance radar replies [C]//Proceedings. (ICASSP'04). IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, IEEE, 2004:ii-49-52.
- [16] PETROCHILOS N, GALATI G, MENÉ L, et al. Separation of multiple secondary surveillance radar sources in a real environment by a novel projection algorithm [C]//Proceedings of the Fifth IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology, IEEE, 2005:125-130.