

基于 dSPACE 的陀螺稳定平台控制算法研究与应用

边栓成, 何磊, 王合龙

(中国航空工业六一三研究所, 河南 洛阳 471009)

摘要: 介绍了基于 dSPACE 的半实物仿真技术在陀螺稳定平台控制系统设计中的应用, 利用 MATLAB/Simulink 和 dSPACE 的软硬件环境, 进行了稳定回路控制算法的研究, 通过数学仿真以及半实物仿真表明, 设计的控制算法能够在实际系统中应用, 并达到了很高的控制精度。

关键词: 陀螺稳定平台; 稳定回路; dSPACE; 半实物仿真

中图分类号: V241.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2007)增(探测与制导)-0378-04

Research and application of gyroscope-stabilized platform control algorithm based on dSPACE

BIAN Shuan-cheng, HE Lei, WANG He-long

(The 613th Research Institute of AVIC, Luoyang 471009 China)

Abstract: A dSPACE based hardware-in-the-loop simulation system is presented to design the control system of gyroscope-stabilized platform. The system of MATLAB/ Simulink and dSPACE is used to design the control algorithm of stabilization loop. Finally, the mathematical simulation and hardware-in-the-loop simulation verify that, the algorithm can be applied in real system, which can increase the system stabilization accuracy greatly.

Key words: Gyroscope-stabilized platform; Stabilization loop; dSPACE; Hardware-in-the-loop simulation

0 引言

在现代战争条件下, 光电探测瞄准系统作为重要的机载设备, 对完成远程精确瞄准和投放武器起着关键性的作用。光电系统的精确稳定快速控制是机载光电设备清晰成像、精确制导和对目标准确跟踪的前提保障, 因此, 国内外对光电系统的控制算法进行了广泛的研究^[1]。随着计算机技术的高速发展, 仿真技术大量应用在控制系统的设计中。与传统的设计试验方法相比, 利用仿真手段在设计早期可以检验设计的效果, 节省大量返工和试验的时间与经费。

随着仿真技术的飞速发展, 在新产品研制过程

中, 半实物仿真得到了越来越广泛的应用。半实物仿真是控制系统设计和研制过程中不可缺少的重要环节, 是在数学仿真的基础上, 接入控制系统中的全部或部分实物而进行的实时仿真。数学仿真和半实物仿真在系统设计的过程中相辅相成, 缺一不可。数学仿真是半实物仿真的基础, 在半实物仿真中暴露的问题, 可以利用数学仿真进一步改进优化, 数学仿真更强调对设计的指导作用, 因此是非实时的。半实物仿真是对系统的综合考核, 由于存在实物必须是实时的^[2]。

文中研究了基于 dSPACE 的半实物仿真技术在机载光电探测系统稳定回路控制系统设计中的应用, 并给出了数学仿真和半实物仿真的结果。

1 系统工作原理

光电探测系统一般是由稳定回路和跟踪回路组成的伺服控制系统(如图 1 所示), 稳定回路的性能对跟踪回路的影响很大, 因此对稳定回路的设计提出了很高的要求, 包括: 快速的响应能力、很小的超调量以及较宽的系统带宽等指标, 由于稳定回路是内回路, 稳定平台的结构设计、干扰力矩大小、负载的惯量等各方面的因素都影响着稳定回路的控制效果, 因此, 设计好稳定回路是保证整个系统稳定跟踪效果的关键环节^[3-4]。

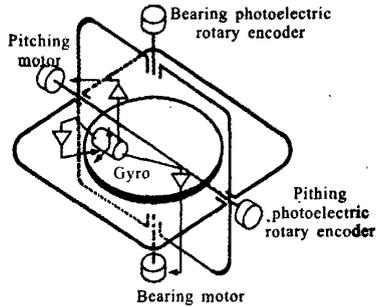


图 2 陀螺稳定平台结构图

Fig.2 Structure of gyroscope-stabilized platform

伺服控制回路, 驱动方位和俯仰轴上的直流力矩电机以克服作用在方位、俯仰轴上的摩擦力矩及其他外界干扰力矩, 从而保证平台的整体稳定性能。

2 稳定回路控制算法设计

陀螺稳定平台是保证视轴稳定的主要部件, 光学组件置于稳定平台之上, 平台隔离了载机的振动, 并在控制指令的驱动之下, 完成对目标的稳定跟踪, 对平台及负载进行建模之后得到稳定回路, 框图如图 3 所示。

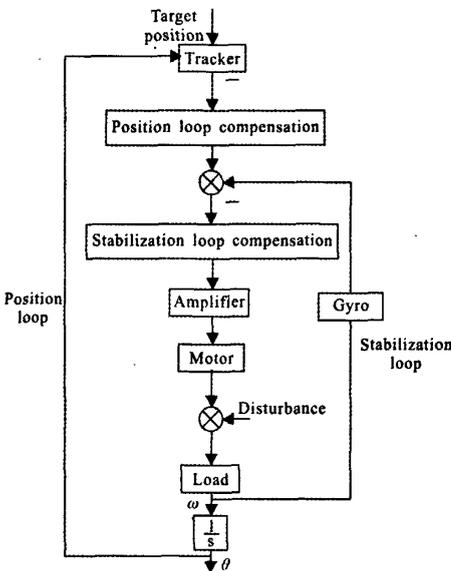


图 1 光电探测系统控制框图

Fig.1 Block diagram of stabilized sighting system

伺服控制部件是实现光电传感器捕获、跟踪、瞄准目标的关键部件, 光电探测系统的电视、红外和激光等传感器, 由于载机的振动和姿态运动, 如果没有伺服控制系统, 将会造成图像的晃动、模糊, 导致飞行员无法瞄准目标。伺服控制部件利用陀螺相对惯性空间的稳定能力结合光机框架构成相对空间稳定的陀螺稳定平台(如图 2 所示), 使得在此平台上的光学器件的光轴或瞄准线与机载环境下的振动和姿态运动相隔离, 稳定地指向目标, 对于成像式传感器来说, 这将大大减小角振动引起的图像模糊, 提高成像质量。在该系统中, 陀螺作为惯性敏感元件, 分别感应平台在空间方位和俯仰上的角运动, 再通过各自的

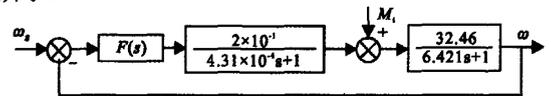


图 3 方位稳定回路框图

Fig.3 Block diagram of bearing stabilization loop

稳定回路控制算法设计应该重点考虑提高开环回路增益, 虽然现代控制理论可以将随机扰动过程和参数变化作为设计模型统一考虑, 其应用也在逐步增多, 但是在实际工程应用中仍大多采用经典控制理论, 其中以频率域设计为主, 即以测量或计算得到的被控对象的开环频率特性(Bode 图)为基础, 而后根据期望的系统动态和稳态性能指标, 设计校正环节的结构和参数。文中以稳定平台的方位回路为例进行了稳定算法设计, 最终得到控制器的传递函数为:

$$F(s) = \frac{K_p(\tau_1s+1)(\tau_3s+1)}{(\tau_2s+1)(\tau_4s+1)} \tag{1}$$

式中: K_p 为稳态增益; τ_1 、 τ_2 、 τ_3 、 τ_4 为超前滞后补偿时间常数, s 。

应用双线性变换将模拟控制器进行离散化后得到数字控制器如下:

$$D(z) = F(s) \Big|_{s=\frac{2z-1}{Tz+1}} = \frac{b_2z^{-2} + b_1z^{-1} + b_0}{a_2z^{-2} + a_1z^{-1} + 1} \quad (2)$$

3 半实物仿真系统

半实物仿真是一种针对实际过程的实时仿真技术,它可将需要的实际被控对象放置在仿真系统回路中进行仿真研究,可对控制参数进行在线调参,改善实际系统的性能。对于大型控制系统的项目研发,如果完全遵循过去的开发过程,由于开发过程中存在着需求的更改,软件代码甚至代码运行硬件环境的不可靠性(如:新设计制造的控制单元存在缺陷),最终将会导致项目周期长、费用高,缺乏必要的可靠性,甚至还可能导致项目以失败告终,这就要求在开发的初期阶段就引入各种试验手段,并有可靠性高的实时软/硬件环境做支持。

dSPACE 实时仿真系统是由德国 dSPACE 公司开发的一套基于 MATLAB/Simulink 的控制系统开发及测试的工作平台,实现了与 MATLAB/Simulink 的完全无缝连接, dSPACE 实时系统拥有具有高速计算能力的硬件系统,包括处理器、I/O 等,还拥有方便易用的实现代码生成/下载和试验/调试的软件环境,如图 4 所示。dSPACE 实时仿真系统提供了一个方便而又快捷的途径将用控制系统设计软件(如 MATLAB/Simulink)开发的控制算法在一个实时的硬件基体上实现,用以观察与实际的被控对象相连时控制算法的性能^[5]。

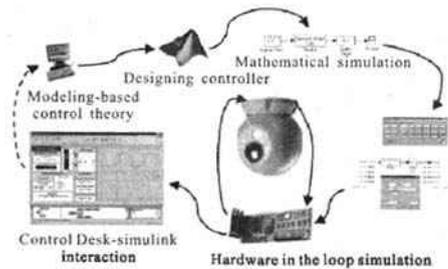


图 4 基于 dSPACE 的控制算法开发流程

Fig.4 Developing flow of control algorithm based on dSPACE

数学仿真是一种离线仿真,在通过数学仿真验证

后,需要进行系统的实时性能仿真,并通过引入真实的被控对象进行详细测试,才能够确保控制算法设计的可行性和可靠性。在控制系统开发的初期,把 dSPACE 实时系统作为控制算法及控制逻辑代码的硬件运行环境,通过 dSPACE 提供的各种 I/O 板,在原型控制算法和被控对象之间搭建起一座实时的桥梁进行半实物仿真,让控制工程师将全部精力放在控制算法的研究和试验上,从而开发出最适合控制对象或环境的控制方案^[6]。

4 仿真结果

在完成稳定回路的控制算法设计之后,应用 MATLAB/Simulink 对稳定回路进行了数学仿真,图 5 给出了单位阶跃响应的仿真曲线,图 6 给出了稳定回路在呈随机分布的干扰力矩作用下的响应输出(设输入稳定回路的干扰力矩最大为 0.1 kg.m),通过仿真结果可以看出,稳定回路具有很好的控制效果。

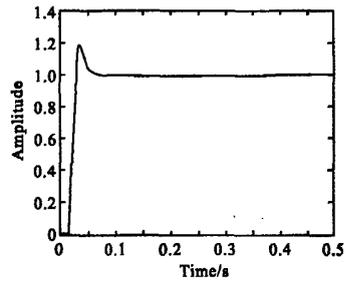


图 5 稳定回路阶跃响应

Fig.5 Step response curve of stabilization loop

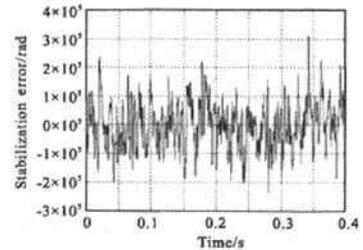


图 6 干扰条件下的稳定回路的响应

Fig.6 Response curve of stabilization loop in disturbance background

在数学仿真的基础上,将实际的被控对象接到控制回路中进行半实物仿真研究,图 7 给出了 MATLAB/Simulink 中的半实物仿真框图,可以将设

设计的控制器直接下载到 dSPACE 实时系统中, 并可以在线调整控制器参数。

5 结论

应用半实物仿真技术对机载光电探测系统稳定回路的控制算法设计进行了研究, 在对陀螺稳定平台结构和工作原理分析的基础上, 应用经典控制理论完成了稳定回路的算法设计, 在数学仿真的基础上, 引入真实的被控对象, 应用 MATLAB+dSPACE 进行了半实物仿真研究, 并且获得了较高的稳定精度, 对光电探测瞄准系统的稳定控制系统设计具有较大的工程意义。

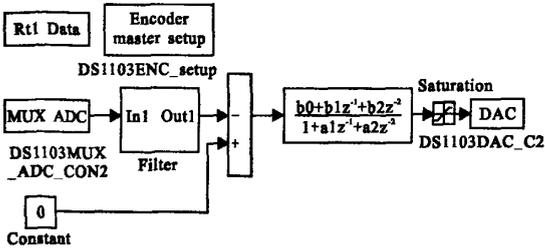


图 7 半实物仿真控制器框图

Fig.7 Block diagram of hardware-in-the-loop simulating controller

图 8 给出了在摇摆台条件下 (2 Hz 1° 正弦摇摆) 陀螺稳定平台在方位方向上的稳定精度测试曲线。

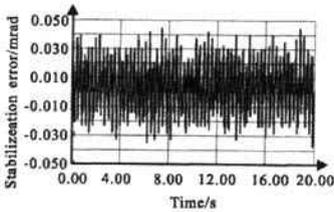


图 8 在摇摆台上的稳定精度测试曲线
Fig.8 Testing curve of stabilization error in swing background

参考文献:

- [1] STEVEN T J, HILKERT J M. Line of sight stabilization using image motion compensation[C]. //Proceedings of SPIE, 1989,1111: 98-115.
- [2] 贡学平, 费海伦. 红外成像制导半实物仿真现状与发展[J]. 红外与激光工程, 2000, 29(2): 51-56.
- [3] 王连明, 葛文奇, 谢慕君. 陀螺稳定平台速度环的一种神经网络自适应控制方法[J]. 光电工程, 2001, 28(4): 9-12.
- [4] 张璟玥, 纪明, 王惠林. 机载稳瞄控制系统模型及仿真分析[J]. 应用光学, 2006, 27(6): 491-496.
- [5] dSPACE. Real-time interface(RTI and RTI-MP) implementation guide[Z]. Paderborn: dSPACE GmbH, 2001.
- [6] 潘峰, 薛定宇, 徐心和. 基于dSPACE 半实物仿真技术的伺服控制研究与应用[J]. 系统仿真学报, 2004, 16 (5): 936-939.