

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.01.025

四框架稳定跟踪平台原理样机设计与实现

夏静萍, 王道波

(南京航空航天大学自动化学院, 南京 210016)

摘要: 为稳定并改造跟踪平台的性能, 针对现有文献侧重于理论研究的问题, 构建机载四框架稳定跟踪平台的原理样机。以某型号机载四框架稳定跟踪平台项目为研究对象, 介绍平台的机械系统和电气控制系统, 设计伺服控制回路和自动跟踪控制回路, 并给出相应的控制策略。试验结果表明: 该设计理论分析正确, 控制系统合理。

关键词: 稳定跟踪平台; 伺服系统; 速率稳定回路; 位置随动回路

中图分类号: TP273 **文献标志码:** A

Design and Realization of Four-Gimbal Stabilization and Tracking Platform Prototype

Xia Jingping, Wang Daobo

(College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: To stabilize and improve the performance of tracking platform for the problem of the existing literature focused on the theoretical study, the prototype of airborne four-frame stability and tracking platform is established. The prototype of airborne four-frame stability and tracking platform for the study, the mechanical system and electrical control system are described, the servo control loop and automatic tracking control loop are designed, and the corresponding control strategy is provided. The results show that the design theory analysis is correct, the control system is reasonable.

Key words: stability and tracking platform; servo systems; velocity stabilization loop; position servo loop

0 引言

机载稳定跟踪平台是安装在无人机等运动载体上的伺服稳定平台。平台上安装对地或对空探测装置, 基于视轴稳定技术跟踪地面或空中目标。当载体的姿态角发生变化时, 稳定跟踪平台可以隔离载体的干扰运动, 保证平台上的探测设备可以始终指向目标。近年来, 稳定跟踪平台得到了快速发展, 并广泛应用于各种军事领域和民用领域, 受到了极大的关注, 可以说它是集控制、电子、光学、机械等多个学科为一体的非常复杂系统^[1-5]。

为稳定并改进跟踪平台的性能, 学者们提出了各种设计方法: 文献[6]设计了跟瞄平台俯仰回路的稳定控制的模糊控制器, 在模型参数摄动又有多种干扰作用时验证了方法的有效性; 为了消除陀螺稳定平台系统中各框架间的耦合影响, 文献[7]设计了一种滑模非线性解耦控制算法; 文献[8]针对速率稳定回路的校正环节设计中的超前滞后校正抗干扰性能差的缺陷, 提出了高阶 PI 校正以及高阶 PI 校正加超前校正 2 种控制方法, 不仅具有较好的抗干扰性能, 而且改善了高阶系统的动态性能; 文献[9]针

对机载对地观测用三轴稳定平台特点, 提出了一种新的陀螺安装方式, 仿真验证了此种安装方式的有效性; 文献[10]在机载四框架二轴稳定跟踪平台机理分析的基础上, 对其速率回路的校正器设计问题进行了机理研究, 在内模控制与 H_∞ 控制结合的基础上, 提出一种内模 H_∞ 控制器设计方法。然而, 这些文献中的方法侧重于理论研究, 而考虑稳定跟踪平台的实际工程方面的工作更具有实际意义和应用价值, 但目前的相关研究和文献还比较少。因此, 针对这一问题, 笔者以某型号机载四框架稳定跟踪平台项目为研究对象, 设计了整个系统的机械系统和电气控制系统, 并最终实现了一套原理样机, 并对其进行了试验验证。

1 平台机械系统

该伺服控制系统由机械系统和电气控制系统 2 部分组成。其中机械系统包括稳定跟踪平台台体、电机、探测装置、光电编码器和角速率陀螺等。稳定跟踪平台台体部分采用卧式 U-O-O-O 结构形式, 主体结构部分由 4 个框架轴系构建而成, 它们是外方位框架(叉形)、外俯仰框架(O 形)、内方位

收稿日期: 2011-08-12; 修回日期: 2011-09-20

作者简介: 夏静萍(1983—), 女, 江苏人, 硕士, 助理工程师, 从事伺服控制研究。

框架(O形)和内俯仰框架(O形),这4个框架通过4根转轴相连接,构成了平台结构运动的主体,其机械结构图如图1所示。

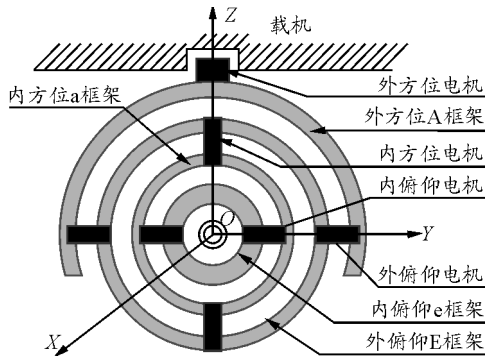


图 1 四框架稳定跟踪平台机械结构图

2 电气控制系统

电气控制系统由伺服控制组件、视频图像跟踪组件、功率放大电路、电源模块及监控计算机等组成。稳定跟踪平台在伺服控制组件和视频图像跟踪组件的控制下,实现视轴的稳定和指向控制、目标区域扫描搜索、目标识别跟踪。视频图像跟踪组件中的图像处理电路实现图像处理,图像识别跟踪模块进行视场内选定目标的识别跟踪,解算出目标的方位、俯仰位置误差信息,以串行通讯方式将离轴角传送给监控计算机,图像跟踪模块得到的控制误差信号通过双口RAM送给DSP控制器,控制平台产生相应的运动,从而实现对预定目标的自动跟踪。稳定跟踪平台的电气控制系统结构示意图如图2。

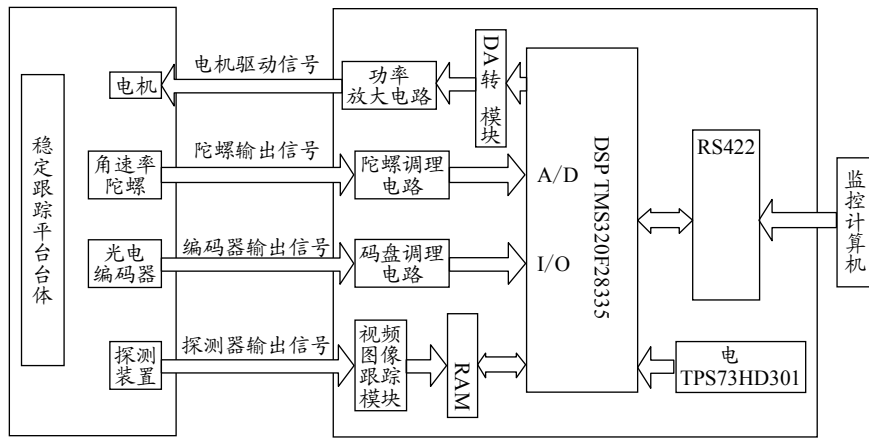


图 2 稳定跟踪平台控制系统结构示意图

3 工作模式及技术指标

根据研究需要及验证要求,笔者设计的稳定跟踪平台原理样机具有自检、自动扫描及自动跟踪3种工作模式。

1) 自检:平台系统上电后,进入自检工作模式。由主控计算机发送自检用的角位置指令,控制平台完成相应功能,以实现对平台基本功能的检查。

2) 自动扫描:平台系统按照预先设定的扫描方式,以一定的运动规律在某个范围内进行扫描搜索,以实现对目标的捕获。

3) 自动跟踪:平台系统在捕获目标后转入自动跟踪工作模式,由图像视频处理器发送方位、俯仰轴的离轴角信号,控制平台指向目标,实现对目标的自动跟踪。自动跟踪是平台最重要的工作模式。

操作人员可以根据具体需求进行人工选择平台的工作模式,同时,稳定跟踪平台也可以按照一定判据进行工作模式的自动切换。

由于稳定跟踪平台系统是典型的精密机电控制系统,对该原理样机系统提出了技术指标要求,如表1所示。

表 1 平台系统主要技术指标

指标	外方位	外俯仰	内方位	内俯仰
转角范围	-135 ~ +135°	-45 ~ +45°	±5°	±5°
定位精度	—	—	0.05°	0.05°
角速度范围	—	—	0.1 (°)/s ~ 60 (°)/s	0.1 (°)/s ~ 60 (°)/s
角加速度	—	—	70 (°)/s ²	70 (°)/s ²
跟踪精度	—	—	0.1°	0.1°

4 回路控制

自动跟踪模式是稳定跟踪平台系统的核心工作模式,笔者以该模式进行回路研究。在该工作模式下,控制回路主要由内框架光轴自动跟踪回路和外框架位置随动回路构成,其中内框架光轴自动跟踪

回路以跟踪器送出的目标离轴角位置信号经校正后转换为角速率信号作为给定信号，以角速率陀螺实时敏感平台相对惯性空间的角速率运动作为反馈信号，控制电机输出力矩，隔离载体扰动并快速精确跟踪目标的小范围内的运动。外框架位置随动回路控制外框架随动于内框架运动，使内框架各轴可以始终处于零位附近。

4.1 跟踪回路控制

稳定跟踪平台采用四框架结构，研究多框架自动跟踪控制回路是本平台设计的难点。对多框架自动跟踪回路分析时，将框架所受的干扰力矩分成摩擦力矩和载体干扰耦合力矩进行分析，控制系统原理框图如图 3 所示。

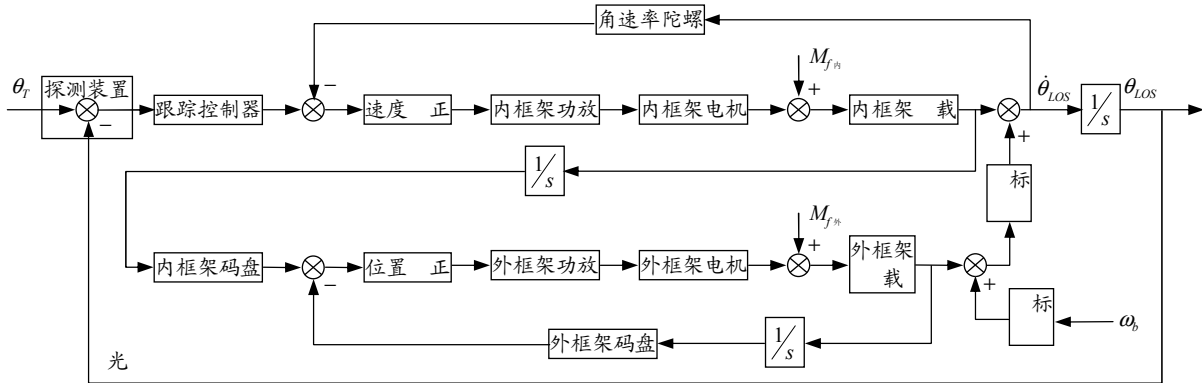


图 3 多框架稳定跟踪平台自动跟踪方式下控制系统原理框图

从图 3 中可以看出，稳定跟踪平台内框架控制系统由速率稳定内回路和位置随动外回路组成。角速率陀螺作为速率反馈元件，敏感内框架相对惯性空间的角速度，速率稳定内回路将该信号反馈到控制回路中，经过速率校正环节校正后，驱动电机产生补偿力矩，消除载体扰动影响。同时内框架又通过光反馈和探测装置闭合构成跟踪外回路，探测装置接收目标离轴角，控制平台转动，使视轴始终瞄准目标。而稳定跟踪平台外框架随动于内框架，以光电编码器(码盘)作为测量元件构成位置随动回路，使内框架始终保持在外框架中心位置附近。

当载体姿态角变化时，对安装探测装置视轴精度的影响，以机体角速率的形式通过摩擦约束和几何约束由外方位框架至外俯仰框架，再至内方位框架逐级传递到内俯仰框架，最终影响光轴的稳定性。

4.2 速率稳定回路控制

速率稳定回路的功能在于能够隔离载体的运动，保证视轴稳定。该回路是稳定跟踪平台控制系统中的关键回路。本平台包含 2 套速率稳定回路，分别为内方位稳定回路和内俯仰稳定回路。回路的控制原理框图如图 4 所示，由角速率陀螺作为测量元件，功率放大器作为放大元件，直流力矩电机作为执行元件及校正环节构成的位置反馈回路。稳定跟踪平台的视轴在载体干扰运动的作用下相对惯性空间发生运动，通过速率陀螺测出平台相对惯性空

间的角速度，经速率校正环节和功率放大环节后送给电机，控制电机产生与干扰力矩大小相等、方向相反的补偿力矩，直至平台相对惯性空间的角速度为零，达到平台稳定。

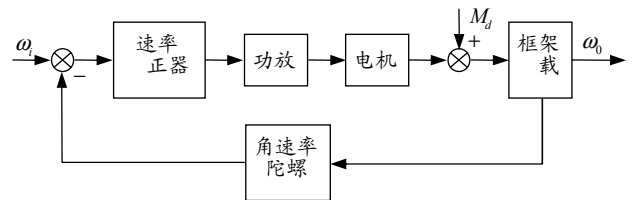


图 4 稳定跟踪平台速率稳定回路控制原理框图

在图 4 中， ω_i 表示角速度输入指令，该输入指令在不同工作方式下有不同来源。在自动跟踪控制方式下来自探测装置，在单杆方式下来自主控计算机。 ω_o 表示角速度输出信号； M_d 表示内俯仰框架所受的干扰力矩，该干扰力矩包含载体运动耦合到内俯仰框架上的干扰力矩及电机转动产生的摩擦力矩等，其中速率校正环节采用高阶比例积分加超前校正器^[8]。

4.3 位置随动回路控制

以外方位框架为例分析位置随动回路。外方位随动回路主要由内、外方位框架系统测角传感器、外方位轴电机、功放及校正环节组成。安装在内方位框架上的测角传感器将内方位相对外俯仰框架的角度偏差信号经伺服回路送至外框架上的力矩电

机, 控制外方位框架随动于内方位框架。由于内方位框架与外方位框架不平行, 二者之间存在 θ_E 的夹角。因此, 在外方位框架角度反馈环节需要引入余弦补偿 $\cos\theta_E$ 。由上述分析知, 外方位随动回路的控制原理框图, 如图 5 所示, 其中位置校正环节采用 PI 校正。

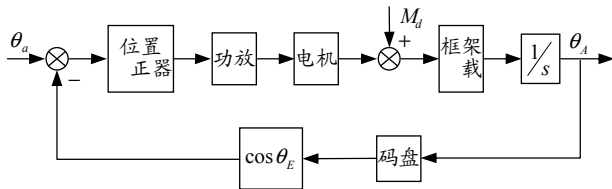


图 5 稳定跟踪平台外方位位置随动回路控制原理框图

5 性能测试



图 6 多框架稳定伺服平台原理样机实物图

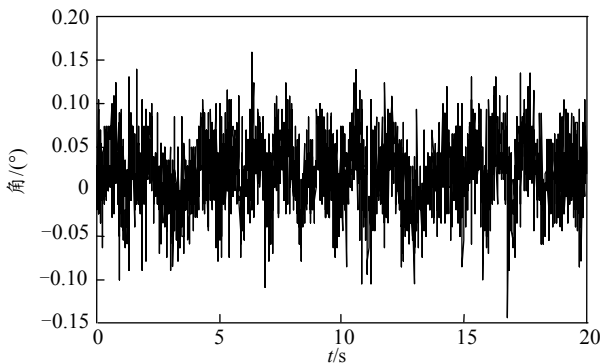


图 7 方位轴隔离载体扰动性能测试曲线

为检测稳定跟踪平台隔离载体扰动性能, 采用单轴方位摇摆转台模拟载体方位运动, 使平台跟踪

一个固定目标, 如图 6 所示。摇摆台按幅值 2° , 频率 0.2 Hz 的正弦规律运动。给定角速率指令 ω_{CMD} 为零, 载体干扰角位置信号为 $\theta_b = 2\sin 1.257t$ 。用方位轴离轴角记录隔离载体扰动性能试验曲线如图 7 所示, 经测量和计算方位轴最大误差为 0.16° , 均方根误差为 0.092° 。

6 结论

针对某预研型号的四框架稳定跟踪平台, 介绍了控制系统设计、硬件组成, 并重点给出了基于 DSP 的平台控制系统回路设计。最后对四框架稳定跟踪平台进行了试验验证, 检测其定位精度和抗干扰性能及跟踪性能。实验结果表明: 该方案的理论分析是正确的, 所设计的控制系统是合理的。

参考文献:

- [1] Masten M K. Inertially stabilized platform for optical imaging system: tracking dynamic targets with mobile sensors[J]. IEEE Control Systems Magazine, 2008, 28(1): 47-64.
- [2] 王明. 机载光电平台的稳定跟踪伺服控制研究[D]. 光精密机械研究, 2002.
- [3] , , 文, . 机载框架陀螺稳定平台速度稳定设计[J]. 光电, 2004, 31(2): 16-18.
- [4] , 建, . 于 Simulink 的性平台稳定系统的建模 [J]. 性, 2005 13(2): 19-23.
- [5] , . 机载稳定平台伺服控制系统的设计 现 [J]. , 2010, 10(18): 4570-4573.
- [6] , 和, . 模控制光电跟平台稳定控制的应 [J]. 控制, 2008, 26(2): 55-58.
- [7] , . 于模结构的陀螺稳定平台性控制[J]. 器表, 2008, 29(4): 771-775.
- [8] 夏静萍, 王道波, . 机载四框架稳定跟踪平台速率稳定回路控制[J]. 自动, 2010, 29(2): 74-76.
- [9] , . 型机载对测稳定平台陀螺装方 [J]. 控制, 2010, 31(3): 614-619.
- [10] 王建, 王道波. 机载稳定跟踪平台速率回路的内模 H_∞ 控制[J]. 电光控制, 2011, 18(1): 20-23.