

基于速度位置双闭环控制的视轴稳定系统设计

马轶男¹, 陆玉姣², 徐江¹, 肖春芳¹, 陈为¹

(1. 中国电子科技集团公司第二十六研究所, 重庆 400060; 2. 中机中联工程有限公司, 重庆 400039)

摘 要: 视轴稳定伺服系统用于隔离振动或冲击对摄像系统成像的影响。系统由航向和俯仰框架组成, 速度传感器、角位置传感器、航向电机、俯仰电机、主控制器构成了速度、位置双闭环稳定控制系统。利用位置环调节来保证系统准确性的基础上加入速度环调节来提高系统响应速度, 使系统的响应时间小于 50 ms, 过渡时间小于 200 ms。

关键词: 位置环; 速度环; 视轴稳定; 陀螺; 控制器

中图分类号: TP273

文献标识码: A

Design of the Visual Axis Stabilization System Based on the Speed and Position Double-closed Loop Control

MA Yinan¹, LU Yujiao², XU Jiang¹, XIAO Chunfang¹, CHEN Wei¹

(1. 26th Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Chongqing 400060, China;

2. CMCU Engineering CO., LTD., Chongqing 400039, China)

Abstract: The visual axis stabilization servo system is used to isolate the effect of the vibration or impact on the camera system. The system is composed of the heading and pitch frameworks. The speed and position double-closed loop stability control system is consists of the speed sensor, angle position sensor, heading motor, pitch motor and main controller. The position loop adjustment is used to ensure the accuracy of the system, while the speed loop adjustment is used to improve the response time of the system. The response time is limited to be less than 50ms, and the transition time is less than 200 ms.

Key words: position loop; speed loop; visual axis stability; gyro; controller

0 引言

在导弹的寻的制导系统中, 导引头是关键测量部件^[1]。导弹在飞行过程中, 受到空气阻力、气流等因素影响, 弹体处于剧烈的震动摇摆中, 这将导致摄像系统无法锁定目标, 不能实现正常跟踪^[2]。因此, 需要利用陀螺传感器组件在惯性空间的测量原理来构成导引头伺服稳定系统, 有效隔离了弹体波动对系统的影响, 从而保证了摄像头的视轴稳定, 获得满意的跟踪精度^[3]。对于导引头这种对平台动态性能和跟踪品质要求较高的系统, 单独采用位置负反馈闭合回路难以满足系统跟踪精度要求^[4]。因此, 设计采用更普遍、更典型的速度、位置双闭环稳定控制系统以有效克服扰动的影响, 使系统具有更好的稳定性和动态跟踪品质。

1 系统总体设计

整个导引头稳定平台由航向和俯仰框架组成, 其示意图如图 1 所示。其主要包括速度传感器、角

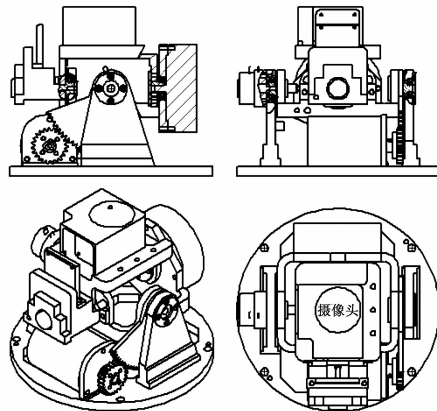


图 1 导引头伺服系统组成示意图

位置传感器、航向电机、俯仰电机、主控制器(带电机驱动)、结构框架等。平台负载类型为摄像头,由于整个系统空间尺寸限制,航向设计采用直驱,俯仰轴采用减速比为3的扇形减速器,以更小的电机输出更大的力矩,使结构更紧凑。内框为航向框,外框为俯仰框。选用微机电系统(MEMS)陀螺作为速度传感器,永磁直流力矩电机作为执行机构,力矩电机的控制信号采用PWM方式。

稳定平台控制系统由航向和俯仰两个轴向的分系统组成。以俯仰轴为例,整个系统的工作流程如图2所示。系统获得给定输入值,系统输入值与反馈信号比较后,偏差引入控制器,经位置回路校正算法处理后,输出控制信号到力矩驱动器,力矩驱动器根据事先设置好的控制策略(速度回路校正),输出相应的电机端电压以控制力矩电机转动,平台转动的角度经测量后,将测量信号反馈回系统输入端,与给定参考输入进行比较后,偏差信号继续控制电机转动,从而带动平台运动,如此反复,直到平台测量位置与系统期望值的偏差消除为止^[5]。

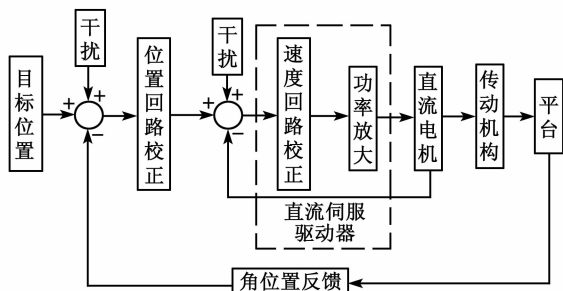


图2 力矩电机伺服控制流程图

2 系统控制器设计

2.1 各模块传递函数模型的建立

由图2可知,构成系统的实体有以下几部分:位置回路校正器、力矩电机驱动器、直流电机、机械传动机构、平台和角位置传感器。首先通过分析各个部分的特性,建立相应的传递函数模型。

2.1.1 位置回路校正器

采用PID控制器对整个系统进行控制,其传递函数用 $G_c(s)$ 表示。该环节的输入为期望值 q_r 与平台实际位置 q_c 的偏差信号 q_e ,输出为控制器的控制量 w_r 。

2.1.2 力矩电机驱动器

驱动器可确定其传递函数为比例积分(PI)环节,PI环节的传递函数可表示为

$$\frac{U(s)}{\Omega(s)} = K_P + \frac{K_I}{s} \quad (1)$$

式中: K_P 为比例放大系数; K_I 为积分系数。实际使用时,该环节的输入为控制器输出的控制量 w_r 与电机实际转速 w_c 的偏差信号 w_e ,输出为力矩电机的端电压值。

2.1.3 力矩电机

通过对力矩电机的电磁原理分析,可得到力矩电机的传递函数模型。如果以电动机的电枢电压 U_c 为输入变量,电动机转速 ω 为输出变量,且忽略电枢电感及粘性阻尼系数,则力矩电机的传递函数可近似为

$$\frac{\Omega(s)}{U(s)} = \frac{1/K_e}{T_m s + 1} \quad (2)$$

其中,

$$T_m = \frac{R_a J}{K_e K_t} \quad (3)$$

式中: T_m 为电动机机电时间常数; R_a 为电枢电阻; J 为电机转子及负载等效在电机轴上的转动惯量; K_e 为电机反电动势系数; K_t 为直流电机电磁转矩系数,仅与电机本身结构参数有关

2.1.4 角位置传感器

角位置传感器测量平台的实际位置,经信号变换后送入系统输入端,与期望值进行比较。因此,角位置传感器的传递函数可表示为单位1。

2.2 系统的总传递函数

根据上述对组成系统各个实体的传递函数的分析,可以得到整个系统的传递函数结构图,如图3所示。

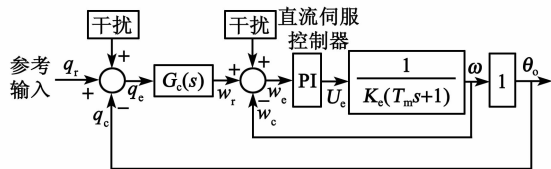


图3 力矩电机控制传递函数结构图

由图3可看出,整个系统包括速度和位置两个反馈闭环。速度环为内环,可以保证整个系统的响应快速性;位置环为外环,可以保证整个控制系统的准确性。

下面对伺服系统传递函数进行化简。首先,速

度环的开环传递函数为 $\frac{(K_P s + K_I) \cdot \frac{1}{K_e}}{s(T_m s + 1)}$,可求得速度环的闭环传递函数为

$$\frac{\Omega_c(s)}{\Omega_r(s)} = \frac{K_P s + K_I}{K_e T_m s^2 + (K_e + K_P)s + K_I} \quad (4)$$

这样得到化简后的系统的传递函数,如图 4 所示。

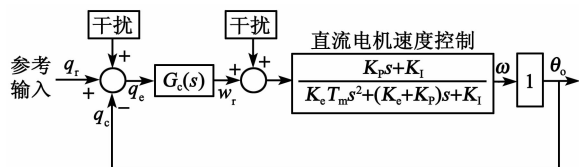


图 4 化简后的力矩电机控制传递函数结构图

根据图 4 可求出整个力矩系统的开环传递函数:

$$\frac{\theta_o(s)}{\theta_e(s)} = \frac{K_P s + K_I}{K_e T_m s^2 + (K_e + K_P)s + K_I} \cdot G_c(s) \quad (5)$$

3 试验结果

根据所选电机的相关参数,得到 $K_e = \text{峰值堵转电压}/\text{最大空载转速} = 0.221 \text{ (V} \cdot \text{s/rad)}$; $T_m = \text{电枢电感}/\text{电阻} = 0.338 \text{ ms}$,通过反复的仿真与验证,设定驱动器的 $K_P = 0.5$, $K_I = 0.001$,由此得到的速度环阶跃响应曲线如图 5、6 所示。

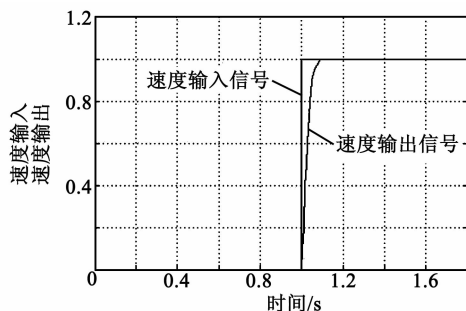


图 5 力矩系统内环阶跃响应图

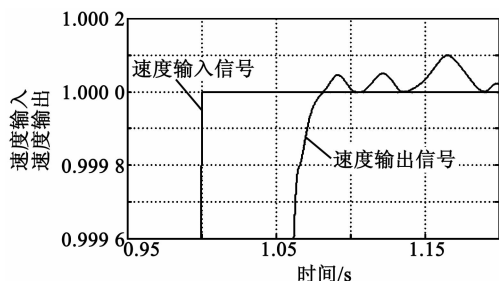


图 6 力矩系统内环阶跃响应的局部放大图

由图 5 可看出,速度环的输出曲线与输入曲线相比,经过一个很小的调整阶段后,输出曲线与输入曲线重合,说明系统输出能很好地跟随系统输入。反映在实际系统中,力矩电机的输出转速无静差地、快速地跟随参考输入的变化。由图 6 可见,当系统

在时刻 1 s 时,接收到一个输入信号时,系统的阶跃输出响应在 1.081 s 时达到稳定值(波动范围小于输入值的 2%),系统的调整时间为 0.081 s。

目前,实践证明,PID 调节器具有结构简单、性能稳定可靠等优点,因此,本系统采用 PID 控制器对整个系统进行控制。PID 控制器的传递函数可表示为

$$G_c(s) = K_P + \frac{K_I}{s} + K_D s \quad (6)$$

经反复仿真测试,初步确定 PID 参数如下: $K_P = 0.5$, $K_I = 0.001$, $K_D = 0.001$,控制器通过软件编程实现。系统阶跃响应的仿真结果如图 7 所示。

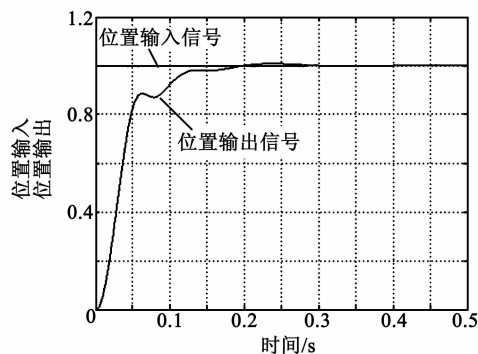


图 7 力矩系统外环的阶跃响应

由图 7 可看出,整个系统的响应时间小于 50 ms,过渡时间约为 200 ms,仿真结果说明该伺服系统满足使用要求。

4 结束语

位置速度双闭环控制的视轴稳定系统由 2 个调节器分别调节位置和速度,这 2 个调节器可以分别设计与调整(通常先内环,后外环),调整方便。速度环由于采用 PI 调节器,可以使系统无静差地、快速地跟随参考输入的变化。通过位置环控制,保证系统的跟踪准确性。在实际导引头伺服系统的使用中,效果良好,在要求的指标范围内能较好地实现稳定跟踪功能。

参考文献:

- [1] 崔大朋,苏建平. 精确制导武器稳定平台技术[J]. 四川兵工学报,2015(5):35-38.
CUI Dapeng, SU Jianping. Technology of stability platform on precision guide weapon[J]. Journal of Si-chuan Ordnance, 2015(5):35-38.
- [2] 蔡立华. 高精度光电稳定平台的控制系统设计[J]. 数字技术与应用,2015(11):181-182;