

机载天线伺服机构设计

宋 斌 齐永龙 李 波

(成都天奥测控技术有限公司 成都 611731)

摘要:为了满足飞机与飞机之间的通信需要,提出了一种机载伺服机构的设计方案。该伺服机构采用直流伺服驱动,可实现天线阵面的俯仰和方位运动。文中对伺服机构的工作原理、总体结构及组成进行了描述,同时针对每个组成部分分别进行了详细说明,并达到了重量轻、体积小的机载伺服机构要求。本文采用了双齿轮消除结构,提高了静态精度,同时采用惯导系统实现了稳定控制。通过高温工作、低温工作以及振动冲击试验和实际测试表明,该伺服机构设计完全达到技术指标要求,能够满足机载天线的需要。

关键词: 伺服机构;双齿轮消除;惯导

中图分类号: TP202 TN820 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510

Design of airborne antenna servo mechanism

Song Bin Qi Yonglong Li Bo

(Chengdu Spaceon T&C Technology Co. Ltd, Chengdu 611731, China)

Abstract: In order to meet the need of the communication between aircrafts, a design of airborne servo mechanism is presented in this paper. Adopting DC servo drive, the servo mechanism can realize the pitch and azimuth movement of antenna array. The working principle, overall structure and composition of the servo mechanism are described in this paper, and it did detailed description separately for each component at the same time, the airborne servo mechanism can meet the requirement of light weight and small size. The static accuracy was improved by using the structure of double-gear eliminating backlash, and the stability control was achieved by using the inertial navigation system. High temperature work, low temperature work, vibration impact test and practical test indicated that the design of servo mechanism can reach the technical request, and can meet the requirement of airborne antenna as well.

Keywords: servo mechanism; double-gear eliminating backlash; inertial navigation

1 引言

随着新一代飞机的出现,其作战范围越来越大,因此要求飞机之间必须快速、实时的传输信息。传统的语音通信及数据传输能力已经不能满足要求,必须采用数据链来完成。但是传统数据链由于受到带宽的限制而无法满足要求,因此应发展一种新型的机间宽带数据链。由于具有结构简单、天线增益稳定等优点,目前大多数航空数据链均采用全向天线,但其增益较低、抗干扰能力较差,只能用于低频、低速通

信,而定向天线则具有高增益、通信距离远和截获概率较低的特点,其应用前景广阔。本文介绍的是一种新型定向天线的伺服机构^[1]。

由于飞机的姿态在飞行过程中会随着时间而不断改变,为了保证飞机与飞机之间的正常通信,必须实时调整机载无线通信天线的姿态,为此应设计一套两轴的天线伺服机构实时跟踪飞机姿态的变化,来调节天线的方位、俯仰角度^[2]。该伺服机构采用惯导系统感知飞机姿态的变化,采用高性能宽温国产CPU作为处理器,采用直流伺服驱动系统,采用位置环、速度环两闭环控制方式,较好的实

收稿日期:2015-12

现该机构的动、静态技术指标以及环境适应性等方面的要求。

2 工作原理

两轴伺服机构通过伺服电机驱动行星减速器及一对齿轮运动,从而带动平板天线旋转,来保持天线姿态的稳定。它采用伺服电机分别对方位轴和俯仰轴进行运动控制,使天线克服两个方向的晃动。

上位机通过 RS485 和 PECL 接口定时发送俯仰和方位的位置指令,控制单元接收到后将指令解析控制电机驱动器,由电机驱动器驱动电机旋转,实现了天线姿态的控制。同时在伺服机构上安装了惯导系统用于测量由飞机姿态变化引起的机构在方位和俯仰速率的变化,通过对速率变化的测量计算出伺服机构需改变的位置量,并将此位置量与机构当前实际运动位置进行比较得到新的位置,完成了天线的稳定控制。其工作原理如图 1 所示^[3-7]。

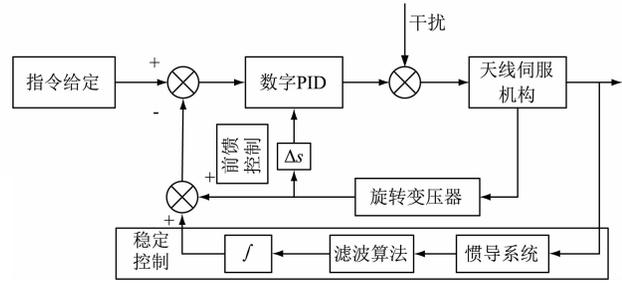


图 1 机载天线伺服机构工作原理

3 系统设计

伺服机构中俯仰采用 U 形框结构形式,与天线共同形成封闭框架以增加结构刚性,方位则采用以滑环为转动轴的圆盘式结构形式。为满足技术指标要求中“重量轻、体积小”的要求,在机械结构设计时尽可能将质量配平,减小转动惯量从而减小加速力矩。

该机载天线伺服机构由控制单元、俯仰驱动系统、方位驱动系统、惯导系统及机械结构系统等组成,如图 2 所示。

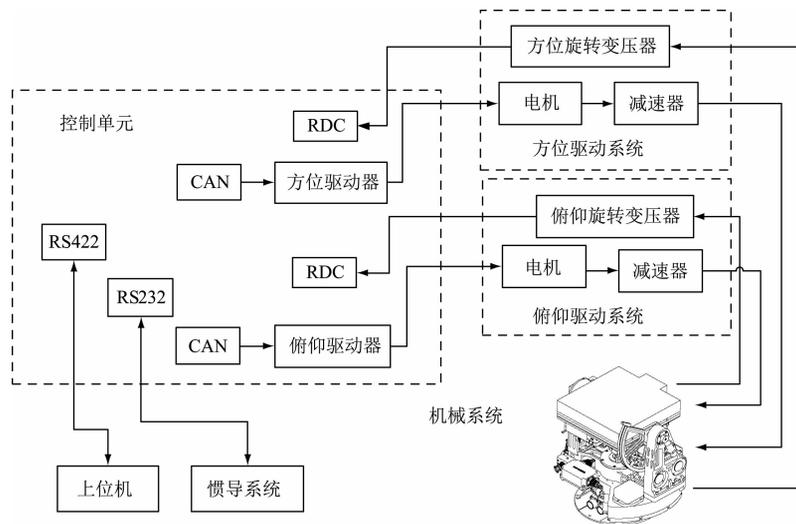


图 2 机载天线伺服机构组成

3.1 驱动系统选择

目前天线伺服系统中采用了两种伺服系统:一种是力矩电机直接与负载相连的直驱伺服系统;另一种是伺服电机通过减速器与负载相连的伺服系统。

力矩电机直接驱动具有传动精度高;有连续堵转能力,抗过载能力强;转动惯量小、系统相应快等优点,但同时存在输出同等力矩条件下体积大和重量重等缺点。

直流伺服电机加行星减速器驱动在输出同等力矩条件下,具有重量轻、体积小及控制简单等优点。

为满足技术指标中体积及重量的要求,俯仰和方位的驱动系统均采用直流伺服电机通过多级行星减速器再加一级齿轮减速完成。

3.2 机械结构

机械结构主要由底座、俯仰部件、方位部件及平板天线组成,其中俯仰部件包括直流伺服电机、行星减速器、扇形齿轮、俯仰轴、旋转关节、旋转变压器及俯仰座等零件,方位部件包括直流伺服电机、行星减速器、直齿轮副、组合滑环、陀螺、旋转变压器及方位座等零件^[8]。具体结构如图 3 所示。

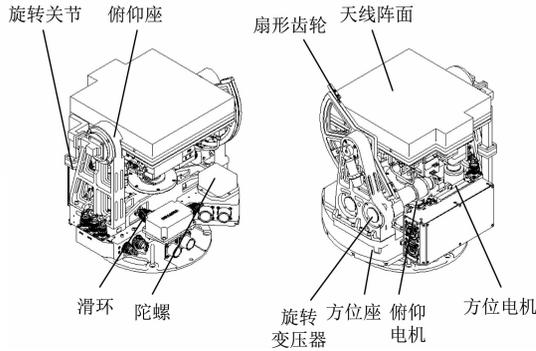


图3 伺服机构机械结构

俯仰部件和方位部件的末级齿轮传动均采用弹簧加载双片齿轮,用于消除齿轮传动间隙,进一步提高传动精度。

弹簧加载双片齿轮其消除原理是采用弹簧将两片齿轮连接在一起,并将其与另一齿轮啮合。由于一片齿轮与轴固定,另一片齿轮为浮动齿空套在轴上,当齿轮转动时,由于弹簧的作用将两片齿分别啮合在配对齿的两面,从而消除间隙。如图4所示。弹簧加载消除可以消除齿轮本身误差引起的间隙,也可消除温度变化引起的间隙,因此特别适用机载环境^[9-10]。

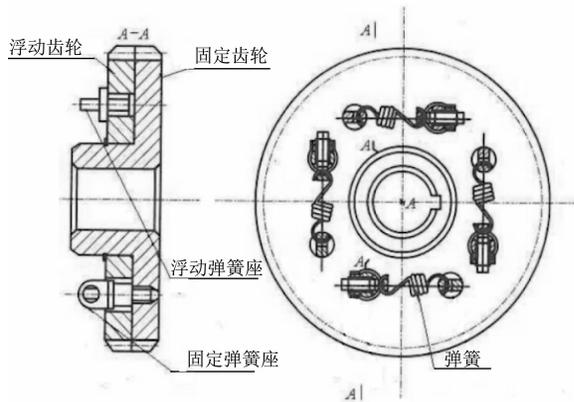


图4 弹簧加载双片齿轮

3.3 惯导系统

稳定控制系统采用速度陀螺和加速计相结合的惯导系统,对基座平台进行稳定控制。数据融合的方法有神经网络、小波分析、低通高通滤波和卡尔曼滤波等滤波算法。对于确定信号,通常采用低通高通等常规滤波算法;而对于随机信号,主要采用卡尔曼滤波算法。由于速度陀螺的信号会产生由白噪声激励引起的随机响应,同时由于加速度计具有动态滞后等特性,故采用卡尔曼滤波算法对惯导系统进行数据融合,从而实现稳定控制。首先假设已知角度状态向量为 \hat{X}_t , 卡尔曼的数学模型如下所示:

状态转移公式:

$$\hat{X}_t = F \times \hat{X}_{t-1} + B \times U_t \quad (1)$$

状态估计矩阵:

$$P_t = F \times P_{t-1} \times F^T + Q \quad (2)$$

滤波增益:

$$K_t = P_{t-1} \times H^T \times (HP_{t-1}H^T + R)^{-1} \quad (3)$$

状态一步预测值:

$$\hat{X}_t = \hat{X}_t + K_t(Z_t - H\hat{X}_t) \quad (4)$$

状态预测矩阵:

$$P_t = (I - K_tH)P_{t-1} \quad (5)$$

式(1)~(5)为卡尔曼滤波算法的基本方程,其中 F 为状态转移矩阵, B 为控制矩阵, Q 为状态转移协方差矩阵, H 为观测矩阵, R 观测噪声方差。根据 t 时刻的观测值 Z_k , 就可以递推计算得到 t 时刻的状态值 X_k ^[11]。

3.4 控制单元

控制单元主要实现与上位机通信、惯导数据的采集以及对机构的运动控制,设计有 CPU、电机驱动器、供电系统、隔离 RS232 端口、隔离 CAN 端口、RS485 控制端口、PECL 通信端口、位置反馈接口、状态指示接口、I/O 端口(实现调试、测试及控制所需要的 I/O 端口)以及其他端口(具有限位、机械零位和伺服抱闸等输入端口)。控制单元的控制原理如图5所示。

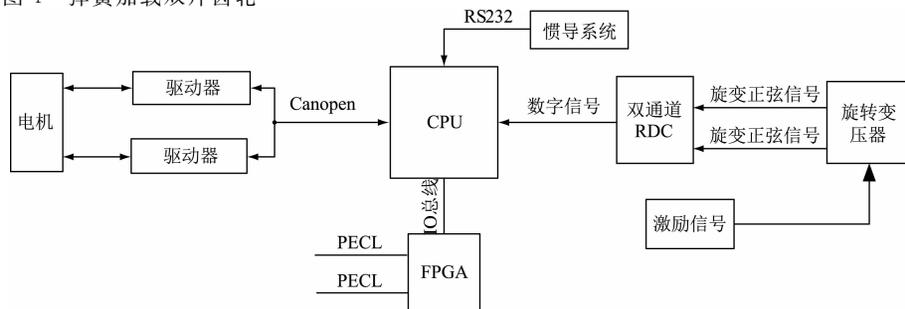


图5 ACU 控制单元原理

其主要指标如下:

- 1) CPU: 200 MHz 的主频
- 2) 供电: 24~28 V DC
- 3) 工作温度: -55~+70℃

4) 通信速度: 1 Mpps

5) 反馈信号: 400 Hz 正弦激励信号, 12 位模拟量信号

6) 通信方式: RS485、PECL

4 测试结果

机构装配调试完成后,在地面用模拟负载的方式对其静态指标进行了测试,同时将其安装在三轴转台上进行了动态跟踪指标测试,其结果如表1和图6~8所示。

表1 测试结果

	俯仰	方位
位置分辨率	$\pm 0.01^\circ$	$\pm 0.01^\circ$
控制精度	$\pm 0.08^\circ$	$\pm 0.07^\circ$
运动范围	$-20^\circ \sim 90^\circ$	连续
转速范围	$\geq 60^\circ/\text{s}$	$\geq 90^\circ/\text{s}$
跟踪精度	0.07°	0.09°
稳定精度	$0.13^\circ/\text{s}$	0.15°

动态跟踪时,设定跟踪目标曲线的幅值为 5° ,频率为 0.2 Hz ,其跟踪曲线如图6所示。

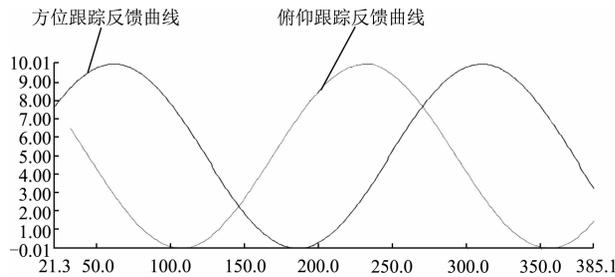


图6 方位俯仰跟踪曲线

由图7可知方位轴的最大跟踪误差为 0.09° ,从图8可知俯仰轴的最大跟踪误差为 0.07° 。

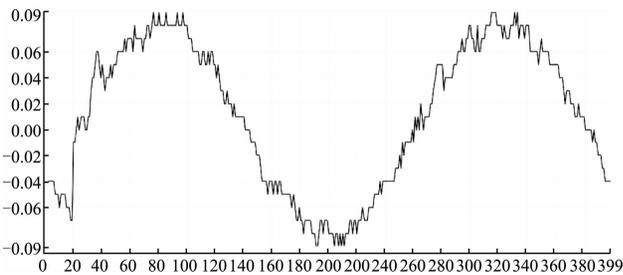


图7 方位跟踪误差曲线

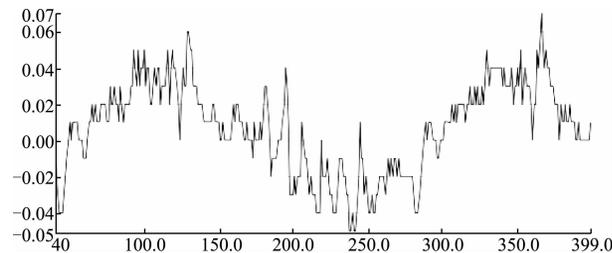


图8 俯仰跟踪误差曲线

由以上实验数据可知,系统位置控制精度、跟踪精度和稳定精度,均已达到设计指标,可以满足机载通信要求。

5 结论

本天线伺服机构达到了包络曲线小、重量轻、结构简单可靠的,实现了机载天线系统的装机指标。经过高温、低温以及振动冲击试验及测试,验证了本系统环境适应能力。同时,由于采用了前馈控制和卡尔曼滤波算法,实现了静态控制和稳定控制的技术指标,从而达到了机载通信的基本要求。

由于体积和重量限制,没有采用高精度的惯导组合,因此控制系统不能单独长时间进行稳定控制,还必须依靠机载组合控制单元进行校正。

参考文献

- [1] 孙利刚. 机间数据链设计与仿真[D]. 西安电子科技大学硕士论文,2010.
- [2] 陈美芳. 一种机载 SAR 天线稳定平台结构设计[J]. 机械与电子,2015,(1):40-42.
- [3] 刘晓军,龚利红,刘鹏,等. 卫星天线稳定跟踪平台的总体模块化设计[J]. 宁波职业技术学院学报,2010,14(5):35-37.
- [4] 宋斌,齐永龙. 一种卫星通信天线伺服机构设计[J]. 国外电子测量技术,2014,33(2):49-52.
- [5] 余伟平,张鹏,伍宗伟,等. 车载中通伺服系统研究与设计[J]. 武汉理工大学学报,2009(15):98-101.
- [6] 张佳阳,高海涛,郑立熹. 直流伺服电机拖动系统的仿真研究[J]. 中国制造业信息化,2009,38(15):44-47.
- [7] 王伟良,刘晓丽,任娟,等. 车载中通伺服系统关键技术的研究[J]. 河北省科学院学报,2010,27(1):31-34.
- [8] 吴凤高. 天线座结构设计[M]. 西安:西北电讯工程学院出版社,1986.
- [9] 谢峰,梁新立. 机构消隙的方法及应用[J]. 机械管理开发,2011(1):118-120.
- [10] 胡超,施浒立,宁春林. 齿轮消隙功能实现探索[J]. 机电工程,2008,25(2):11-14.
- [11] 周瑞青,刘新华,史守峡,等. 捷联导引头稳定与跟踪技术[M]. 北京:国防工业出版社,2010:67-76.

作者简介

宋斌,1967年出生,男,四川成都人,高级工程师,主要研究方向为多自由度伺服运动机构。

E-mail:13308200872@163.com