

# 无人机光电探测器稳定平台控制系统设计与研究

赵星龙, 许爱华, 卓家靖, 孙澜琼

(武汉军械士官学校, 湖北 武汉 430075)

**摘要:** 本文根据无人机光电探测器稳定平台的使用条件和功能需求, 给出了稳定平台控制系统设计的总体方案, 在此基础上对控制系统从硬件和软件两个层面进行了研究, 最后对无人机光电探测器稳定平台发展趋势和发展方向进行了展望。

**关键词:** 无人机 光电探测器 稳定平台 控制系统

## 0 引言

无人机光电探测器稳定平台是利用其上搭载的光电探测器作为敏感元件, 利用机电控制保持探测器视线稳定, 从而实现整个系统对目标的捕获、跟踪、瞄准和稳定功能。传统的稳定平台大都采用封闭式结构, 将探测器固定安装于密闭结构之内, 这种方式结构紧凑, 刚度相对较高, 能对探测器起到一定的保护作用。然而, 现代无人机以其飞行时间长、有效载荷大、机动性能好、任务多样等优势, 得到了新的更多的应用, 其特点决定了无人机所搭载的稳定平台区别于传统稳定平台的结构形式。

## 1 系统总体设计

无人机光电探测器稳定平台作为无人机上搭载的对地、对空侦察系统, 需要完成对特定区域的目标发现与跟踪, 图像实时传输和目标位置解算等功能。

### 1.1 系统设计的总体目标

由于稳定平台需要搭载 CCD 电视摄像机、前视红外仪、激光测距仪、合成孔径雷达等光电类负载, 因此, 为了满足光电探测器的使用要求, 达到稳定的工作条件, 稳定平台控制系统在设计时需要实现如下功能:

(1) 指向控制功能: 平台可以按控制指令在不同模式下进行运动, 根据其发现与跟踪目标的要求, 需要具有自检、点动、锁定、手动搜索、自动搜索和惯性稳定等工作模式。

(2) 稳像功能: 由于气流扰动或其他扰动因素的作用, 会引起平台在惯性空间的指向变化, 造成可见光、红外或雷达图像的抖动, 因此, 平台须具备稳像功能, 以获得清晰的图像。

(3) 通信功能: 可以将平台的状态信息通过无人机上搭载的通信设备发送至状态显示和控制单元, 控制单元根据获得的信息确定平台需要的工作模式, 发送控制指令进行平台的控制操作。

### 1.2 系统的组成

按照系统总体设计目标, 结合平台的稳定原理, 稳定平台机械框架采用开放式的方位-俯仰两轴稳定形式, 系统通过直联式陀螺安装感受系统惯性空间角速度变化实现稳像功能, 控制系统的组成包括两轴转动机构、陀螺及信号调理单元、伺服控制单元、机载通信设备和机载电源等部分。各组成部分的功能如下:

(1) 两轴转动机构: 采用成熟的方位-俯仰两轴稳定结构, 俯仰轴安装在方位轴上, 随方位轴转动, 每个轴均由机械框架、伺服电机和光电编码器等部件组成。CCD 电视摄像机等光电探测器均安装在俯仰框架提供的安装基面上, 并可进行光轴和电轴的校轴工作。

(2) 陀螺及信号调理单元: 作为惯性敏感元件安装于平台俯仰轴的后框架上, 陀螺敏感负载视线方向在惯性空间内的角速度信息变化, 作为反馈信号通过电缆反馈到系统的伺服控制回路中, 实现控制系统的闭环操作。

(3) 伺服控制单元: 采用高强度机载加固电脑机箱, 物理上保护箱内伺服控制电路板和伺服电机驱动器, 同时具有一定的干扰隔离作用。控制箱通过电缆与系统其他部分进行信息的交换, 是连接稳定平台框架和操作人员的桥梁。

(4) 机载通信设备: 采用便携式计算机, 其上安装 LabVIEW 8.6 软件, 通过该软件进行上位机人机操作界面的编写, 显示稳定平台的实时状态信息, 实现对稳定平台的实时监视和控制。

(5) 机载电源: 提供稳定平台工作所需要的 220V 交流电。在地面时可直接连接市电进行相关的操作, 空中工作时依靠无人机上的发电机得到稳定平台所需要的动力要求。

## 2 控制系统硬件设计

伺服控制系统是稳定平台功能实现的关键, 机械框架上陀螺感受到的惯性空间的速度变化信息、光电编码器得到的平台相对位置信息、俯仰轴和方位轴到达极限位置后行程开关的信息都通过电缆与伺服控制箱连接, 伺服控制箱内部的伺服控制电路板通过获得的平台状态信息, 根据约定的协议, 通过串口将稳定平台当前的速度、位置信息发送到上位机显控界面, 操作人员根据获得的信息设置平台的工作模式, 同时设置特定模式下的平台位置, 发送到伺服控制单元, 伺服控制电路板响应上位机的控制命令, 进入设置的工作模式, 输出控制信号驱动框架上的伺服电机到达预定的位置, 实现目标的发现与跟踪。控制系统硬件电气连接关系如图 1 所示, 其中伺服控制电路板和陀螺数字伺服控制器是系统硬件设计的核心。

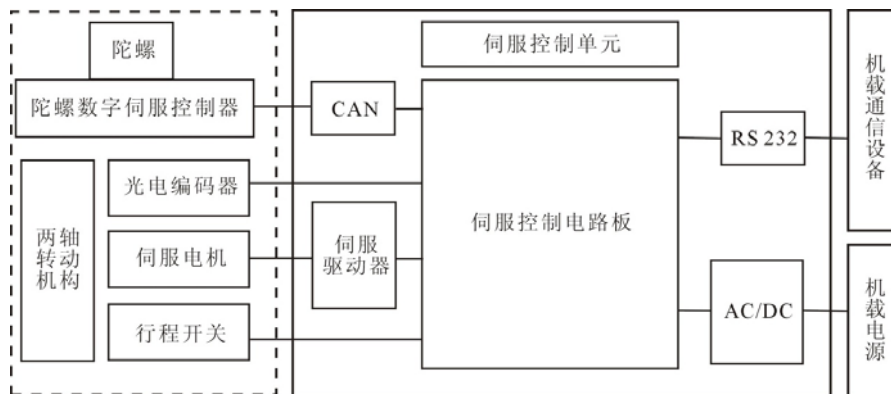


图 1 硬件电气连接关系图

### 2.1 伺服控制电路板硬件设计

伺服控制电路板要实现上述功能, 需要具备陀螺、光电编码器、行程开关的信息获取与处理能力; 同时需要具备与上位机的串口通信能力, 实现与上位机的信息互通; 而要实现平台按照操作人员的需要进行运动, 伺服控制电路板必须具备控制信号输出能力。伺服控制电路板作为主控制器, 其设计框图如图 2 所示。

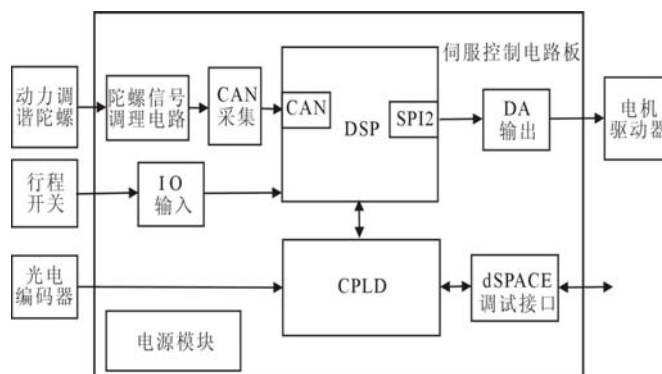


图 2 伺服控制电路板设计框图

考虑到伺服电路板的功能实现, 选择 DSP 芯片作为硬件系统的微处理元件。它既具有数字信号处理能力, 又具有强大的事件管理能力和嵌入式控制功能, 特别适合于有大量数据处理的测控场合, 如电机伺服控制系统等。

伺服控制电路板以DSP芯片为核心，外围辅以一片CPLD，CPLD可用于译码输出和捕获输入，可对外部脉冲进行计数，实现增量式编码器四细分，对外部光电编码器进行脉冲计数得到平台相对位置信息；总线接口为CAN总线，其具有抗干扰能力强、可靠性高、实时性好和易于使用等特点，位速率可高达1Mbps，实现了陀螺感知到的惯性空间速度变化信息的高速传输；采用四路光电隔离输入信号，用于俯仰和方位的行程开关信号输入；信号控制单元电路的控制信号通过DSP的外接D/A转换器产生模拟控制信号，控制谐波电机的驱动器，产生电机的控制信号，其外围的四路光电隔离的通用I/O输出信号，用于控制电机驱动器的使能端口；伺服控制电路板还具有RS232通信功能，用于与上位机的信息交换。

## 2.2 陀螺数字伺服控制器设计

调陀螺仪数字伺服控制器是与陀螺仪表头配套的专用电子设备，它由数字再平衡回路控制电路和数字化陀螺电源电路两个子系统组成。陀螺数字伺服控制器设计框图如图3所示。

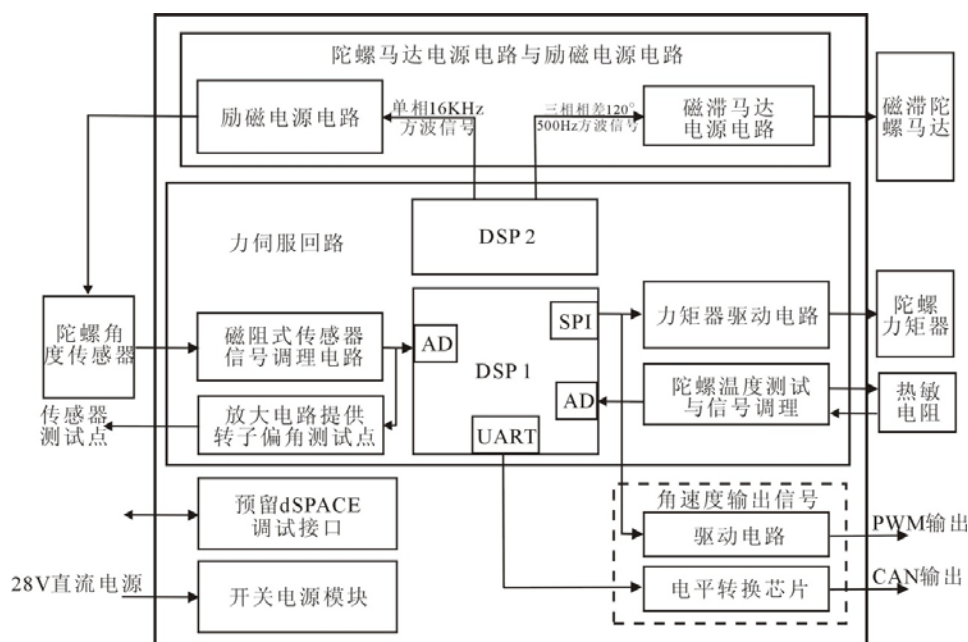


图3 陀螺数字伺服控制器设计框图

作为数字再平衡回路的核心，数字控制计算机采用先进的DSP数字控制器芯片，用以产生控制周期的时基和A/D转换器均集成在DSP芯片内部。除D/A转换器电路之外，图3中还包含了必要的信号预处理电路、功率放大电路和陀螺输出接口电路。为了适应不同系统的应用要求，陀螺输出接口电路设计有CAN总线输出和频率输出两种方式。用于消除1倍转子转频干扰信号和章动频率干扰信号的陷波器将采用数字滤波的方法由控制程序实现。在实际的设计中，为了便于采用先进的半实物仿真方法进行系统辨识和控制器设计，还增设了dSPACE半实物仿真接口电路。除上述电路外，动力调谐陀螺内部还设计有测温用热敏电阻，可以提供陀螺的内部温度测量信号，用作陀螺误差补偿和惯导系统的热补偿，因此为其设计了信号处理电路和输出缓冲电路。由于挠性陀螺仪数字伺服控制板除了要提供控制电路与信号处理电路直流电源外，还需要为陀螺仪表头提供两路交流电源，用作陀螺马达驱动和传感器激磁，这两路交流电源的性能将直接决定陀螺仪表的整体精度，在伺服控制系统的硬件设计中，占有重要地位。

## 3 控制系统软件设计

稳定平台需要工作在不同的模式，以达到对目标的发现与跟踪要求。控制系统软件设计基于不同模式下稳定平台的功能实现，由上位机软件根据获得的平台状态信息进行控制模式的选择和控制指令的发送，底层软件通过中断服务程序响应上位机的控制指令，通过控制算法和误差补偿，输出电机控制信号实现平

台的运动控制。

### 3.1 系统功能与工作模式

考虑到稳定平台要达到目标发现与跟踪、视轴稳定、故障排除等功能，系统需要具备如图 4 所示的工作模式。

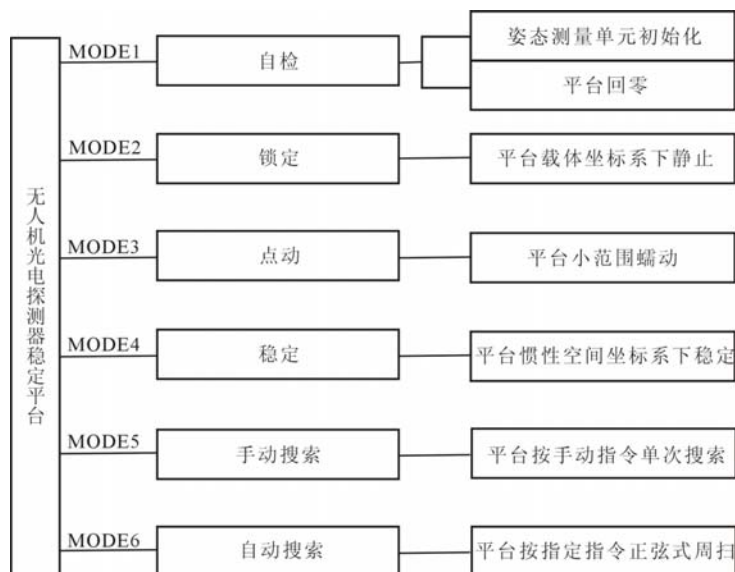


图 4 无人机电探测器稳定平台工作模式

其中各个模式下平台的详细功能实现如下：

(1) 自检：当发现平台返回的俯仰和方位位置信息出现比较明显的偏差时，即平台返回信息已经不能正确的反应平台的状态时，软件提供自检命令，使平台能够回到正常工作状态。

(2) 锁定：在无人机的飞行过程中，需要平台处于工作状态但是不需要其处于其他运动模式，或者无人机静止时对另一静止目标进行对准，需要平台处于锁定状态。

(3) 点动：当目标已经处于监控区域而进行小范围的蠕动时，需要平台根据目标的小范围蠕动进行相应的小角度跟踪，因此需要对平台进行点动的控制，小范围的调整平台姿态，实现对目标的跟踪。

(4) 稳定：无人机在发现静止目标以后，需要对目标进行运动中跟踪，因此需要保持平台与目标的相对静止，实现对目标的始终对准，稳定模式就是让平台处于一种与目标的相对静止状态，达到他们空间上的相对静止。

(5) 手动搜索：手动搜索是操作者根据自己的观察或者经验判断目标的可能区域，人为的对不同的区域进行目标的搜索。手动搜索是操作者自己设置搜索区域，平台在该区域内一次扫过，实现对目标的发现。

(6) 自动搜索：自动搜索是对于目标可能的出现区域进行重复的扫描。操作者根据掌握的情况，对特定区域重复搜索，实现对目标的发现。

### 3.2 底层软件设计

由于在硬件设计中采用的是以 DSP 数字信号处理器芯片为核心的交流伺服系统，因此，整个底层控制系统软件使用 C 语言编程，主要模块如图 5 所示。

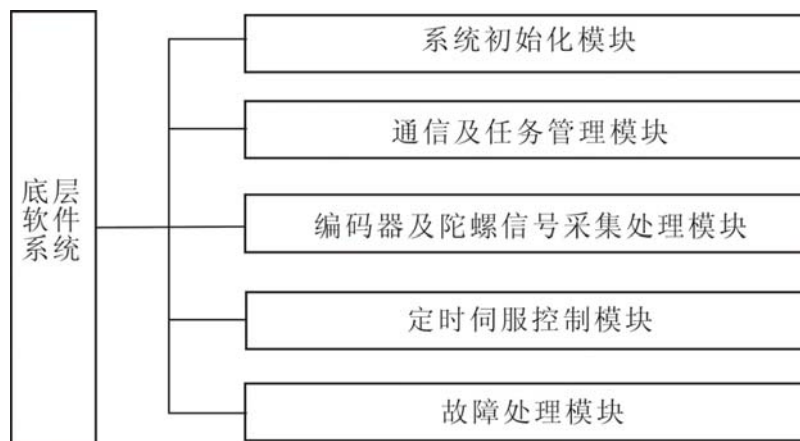


图5 底层软件系统组成

底层软件是控制算法实现和信息处理的核心，其各模块的功能如下：

(1) 系统初始化模块：该模块主要完成运动控制器以及外设的初始化工作，包括通信、AD/DA、定时器、I/O口等外设。

(2) 通信及任务管理模块：该模块主要负责伺服控制系统与上位机的通信，接收系统工作模式指令及方位和俯仰运动指令，然后指定由相应的任务模块来完成。

(3) 编码器及陀螺信号采集处理模块：主要包含编码器和陀螺信号采集接收、滤波去噪，得到速度信号和角位置信息，作为直流伺服系统的角速度和角位置反馈。

(4) 定时伺服控制模块：该模块是整个伺服系统软件的核心部分，在定时中断服务程序中完成，负责完成平台的运动控制、系统的稳定算法及误差补偿。包括方位和俯仰两轴的数字速度环、位置环控制器，各种功能模式的实现。

(5) 故障处理模块：该模块负责监视陀螺信号、光电编码器信号、电机电枢电流等信号的状态及系统其他状态，发现异常及时作出相应的处理。

### 3.3 上位机软件设计

上位机软件通过便携式计算机的串口实现与底层软件的通信，建立起信息的交换和控制指令的发送与响应。根据平台需要的工作模式，上位机必须能提供平台需要的模式切换功能；同时为了让操作者实时的了解平台的状态信息，需要具有处理获取的信息并显示到控制界面的功能；操作者根据直观的稳定平台状态信息显示，得到实现平台目标发现与跟踪所需要的位置指令，进行对底层软件位置指令的发送。

考虑到系统界面的完整、简洁、直观和后续开发的需要，采用基于 Windows XP 平台的虚拟仪器开发软件 LabVIEW 8.6 进行上位机显控软件的开发。其显控界面设计如图 6 所示：

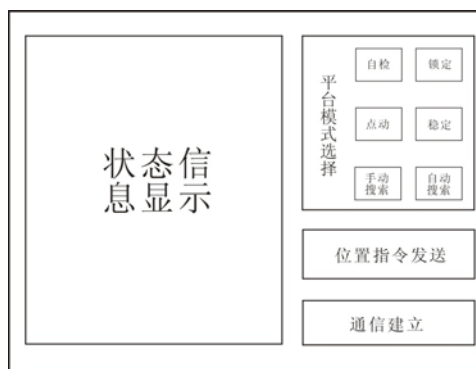


图6 上位机显控软件界面

从图 6 可以看出,上位机显控界面由四部分组成,分别是通信建立模块、状态信息显示模块、平台模式选择模块和位置指令发送模块。通信建立模块通过与底层软件通信及任务管理模块发送握手协议,通过串口建立双方的信息交换渠道;状态信息显示模块接收底层软件的编码器及陀螺采集处理模块的平台状态信息,解析后进行显控界面的直观显示;模式选择模块通过所选平台模式指令的发送,使底层软件的通信及任务管理模块根据指令进入相应的平台模式;位置指令发送模块对应于底层软件的定时控制模块,通过控制器算法的实现达到平台的位置控制。上位机软件针对平台功能的实现,达到了与底层软件的良好结合。

## 4 结束语

根据现代战争的特点和发展趋势,无人机光电探测器稳定平台发展势头强劲,朝着空间的立体化、结构形式的多样化、小型化、探测器搭载的集成化、侦察与打击的一体化、提高装备的适应和生存能力方向发展。因此,无人机光电探测器稳定平台需要向以下几个方面发展:使用新型光学和结构材料,优化结构形式,缩小光学系统和结构框架的体积,减轻重量;多探测器并用;稳定精度进一步提高;集成化、模块化更加明显;控制系统设计更加快速有效等。

### 参考文献:

- [1] 刘伟,张智永,范大鹏.浮空试验平台用陀螺稳定装置设计.全国高等学校制造自动化研究会中南分会,CUSMA2009,2009,7.
- [2] 谢浩宇.飞艇探测器稳定平台结构优化技术研究.国防科学技术大学研究生院硕士学位论文,2008.
- [3] 刘伟.飞艇光电探测器稳定平台控制系统研究.国防科学技术大学研究生院硕士学位论文,2009.
- [4] 张智永.光电稳定伺服机构的关键测控问题研究.国防科学技术大学研究生院博士学位论文,2006.
- [5] 贾平,张葆.航空光电侦察平台关键技术及其发展.光学精密工程,2003.
- [6] 周瑞青,吕善伟,刘新华.弹载捷联式天线平台两轴稳定实现方法的比较.系统工程与电子技术,2005.