

基于 ARM 的小型电视引导察打一体 无人机任务控制系统设计与实现

陈杰,王日胜,蒋玉峰,夏明卓

海军装备研究院,北京 102249

摘要 设计了基于 ARM 的小型电视引导察打一体无人机任务控制系统。该系统基于 Philips 的 LPC2138 AMR7 和 USOS II 嵌入式实时操作系统,作为无人机的中心控制系统完成与 4 个分系统之间的实时数据交换和数据解算工作。系统通过与数据链电台的接口实现与地面站的数据交换;通过与飞行控制系统的接口实现目标锁定后的飞行轨迹控制;通过与电视跟踪系统的接口实现目标的跟踪与锁定;通过与云台和摄像头的接口实现电视跟踪分系统的控制。系统对各分系统的数据收发稳定可靠,转发的数据误码率低于 0.1%;对于云台的转动控制快速、准确、稳定;发送给飞控系统的轨迹偏差控制角准确。该系统已完成工程样机的研制,并成功完成多次试飞和模拟打击实验,为大型察打一体无人机的研制提供参考。

关键词 电视引导;无人机;比例-积分-微分;ARM;嵌入式实时操作系统

中图分类号 TP302.1

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.01.003

Design and Realization of ARM-based Fly Task Control System in UAV, Guided by Small TV with the Ability of Attacking and Scouting

CHEN Jie, WANG Risheng, JIANG Yufeng, XIA Mingzhuo

Naval Academy of Armament, Beijing 102249, China

Abstract This paper presents the design and the realization of an ARM-based fly task control system in the UAV, guided by small TV and with the ability of attacking and scouting. As a central part of the UAV, this system utilizes the Philips ARM7-LPC2138 and has embedded the real-time operating system USOS II to accomplish the task of both the real-time data exchange and data treatment with other four subsystems. The data exchange between the ground station and the system is achieved through the interface with the data link radio; the target tracking and locking is achieved through the interface with the TV control system; the flying path control under the condition of the locked target is achieved through the interface with the flight control system; the control of the TV control system is achieved through the interface with the Pan/tilt and the camera. The data exchange is stable and reliable with the error rate lower than 0.1%. The system controls of the Pan/tilt can meet the requirements of speed, veracity and stability. The control angle of the path deviation is accurate and it is transmitted to the flight control system. At present, the development of the prototype is completed, with test flights and simulated attacking experiments to provide technical supports for the large-scale UAV with the abilities of attacking and scouting.

Keywords TV guiding; UAV; PID; ARM; RTOS

0 引言

近年来,随着无人机技术的日益发展,以及战场态势的快速变化,察打一体无人机的作用日益突出,特别是随着无人机向攻击性和小型化发展,图像处理技术日益成熟,世界

各国竞相利用电视引导技术来发展一次性使用的侦察-攻击型无人机^[1]。

小型无人机体积小、载荷小,为提升攻击效果,需要增大战斗部的添药量,因此,主要选择可见光导引方案,利用电视

收稿日期:2012-07-13;修回日期:2012-11-05

作者简介:陈杰,工程师,研究方向为无人机飞行控制系统,电子信箱:brizel@sohu.com

摄像机摄取目标图像获得制导信号,采用操作人员在回路观测锁定目标,末端自主攻击模式,具有跟踪精度高、系统结构简单、不主动发射电磁波、隐蔽性好等优点^[2]。

在无人机系统中,任务控制系统负责对整个系统的任务分配,协调各个分系统的信息通讯,实现决策控制等,它是整个小型察打一体无人机的核心部分,具有极其重要的作用。

1 察打一体无人机系统组成及工作原理

1.1 系统组成

电视制导察打一体无人机系统由电视跟踪系统(TV Control system, TVC)、飞行任务控制系统(Fly Task Control system, FTC)、无人机飞行控制系统(Flight Control System, FCS)、云台、摄像头、伺服驱动器、数据链电台和人在回路的地面站组成,组成示意图如图1所示。

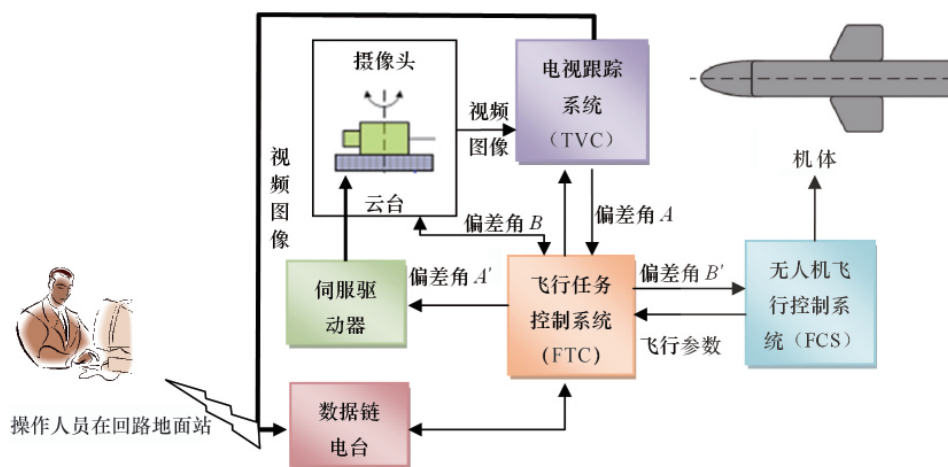


图1 电视制导察打一体无人机系统组成示意

Fig. 1 System composition of TV guiding UAV system with abilities of attacking and scouting

数据链电台分为数据链路和模拟链路两部分,数据链路在FTC和地面站之间传送各分系统的状态参数和命令数据;模拟链路实时将经过TVC增稳且添加目标跟踪点和跟踪轴坐标的视频传送到地面站,供回路人观察;FCS完成无人机的自主飞行控制;TVC在自动跟踪阶段工作,完成电视画面的增稳并实时解算锁定目标位置与系统光轴的角度偏差并发给FTC;FTC为全系统的任务控制中心,完成FCS、TVC、地面站的数据交换及摄像机云台的比例-积分-微分(PID)控制,并完成自动跟踪过程中的偏差角计算工作;伺服驱动器接收FTC的控制指令,完成对摄像机云台中两轴电机的驱动;在回路地面站完成数据记录、目标搜索和锁定工作。

1.2 察打一体无人机系统工作过程

系统整个工作过程由起飞前准备(I)—自主飞行(II)—搜索目标(III)—自动跟踪(IV)—目标冻结(V)5个阶段组成。

1.2.1 起飞前准备阶段

起飞前,首先对FCS装订自主飞行参数,并完成FTC、FCS、TVC的自检;校准摄像头、陀螺平台轴向与弹体轴向。

1.2.2 自主飞行阶段

无人机完成起飞后,按起飞前装订的航路数据自主飞行,FCS将航迹、姿态等飞行状态参数传送到FTC,FTC接收后直接转发,并通过数据链电台传回地面。根据需求,地面站可发送指令变更航路规划、速度、航向、高度等数据信息。

1.2.3 搜索目标阶段

无人机在飞抵距目标指定距离区域时,开启机上摄像

头、图像发射机和TVC,进入目标搜索阶段。地面站控制人员通过摇杆控制摄像机云台进行两轴向的转动及摄像机的变焦,实现对目标的搜索。FTC将FCS传送的无人机姿态参数也转发至TVC,TVC根据无人机的姿态参数将摄像头拍摄的视频图像实时增稳处理,处理后的稳定视频通过数据链电台的专用通道实时传送至地面站。

发现目标时,发送变焦指令,拉近目标,对目标进行人工识别,确定是预定的攻击目标后,地面控制人员点击目标中心,波门自动套住目标,操作员确认后,地面站发送锁定指令;如有误,操作员再次用鼠标点击目标中心,波门自动套住新的目标并再次发送锁定指令,进入自动跟踪阶段。

1.2.4 自动跟踪阶段

进入自动跟踪阶段后,TVC除了实时对视频图像进行增稳处理外,也会实时将新的视频图像与锁定时所选定的目标图像进行比对,获取锁定目标在当前视窗中的相对位置,并输出目标与视窗中心点之间的水平 x 轴和垂直 y 轴的像素误差;为保证TVC处于最优的目标识别锁定状态,需要TVC根据无人机与目标的距离自动向FTC发送变焦指令,将目标图像保持在整个画面的 $1/5$ 至 $1/3$ 之间;FTC接收指令后,控制摄像机执行变焦命令,并将执行结果反馈回TVC。

FTC在接收到TVC输出的目标与视窗中心点像素偏差角 A (图1)后,经内部PID算法解算,输出偏差控制信号 A' 至伺服驱动器,驱动摄像头云台向减小偏差角 A 的方向转动,控制云台带动摄像头的光轴中心指向目标。

当偏差角 A 减小到预定范围 $(-A, A)$ 和 $(-B, B)$ 以内时, FTC 开始将当前云台两轴的偏差角 B 转换为无人机轨迹偏差控制角 B' (图 2), 传送至 FCS, 并发送锁定命令。此时, 无人机姿态稳定仍然由 FCS 控制, 但航迹控制已由预先设定航线转至 FTC 控制的减小机体与云台的偏差角 B' 控制状态, 使得无人机的飞行方向逐步向目标方向接近, 如图 2 所示。

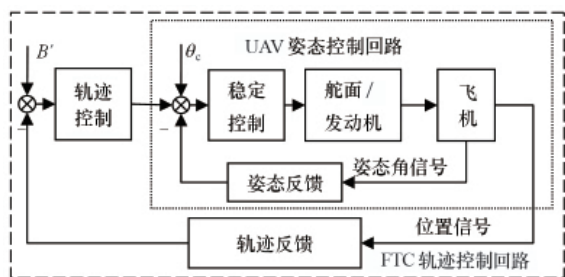


图 2 无人机自动跟踪状态飞行控制框图
Fig. 2 Flight control structural graph of the UAV under the condition of automatic tracking

1.2.5 目标冻结阶段

随着无人机距离目标越来越近, TVC 为保持目标图像轮廓的合适大小不断发送减小焦距指令把目标推远。当焦距变至最短, 且目标轮廓超出预先所占图像画面的设定范围时, TVC 停止发送变焦指令, 向 FTC 发送目标冻结指令。此时舵机固定当前状态, 无人机按原航线飞向目标直至命中。

2 飞行任务控制系统硬件设计

2.1 硬件需求

通过对察打一体无人机系统组成及工作过程的分析, 可得出飞行任务控制系统的硬件需要满足处理速度快、多路模拟、数字信号采集、输出能力、较大的数据存储能力的要求, 其具体需求如下。

- (1) 具有较高的处理速度: FTC 需要同时与 TVC、FCS、云台、摄像头、伺服驱动器、数据链电台等分系统进行大量的数据交换、数据解算、伺服控制等任务, 因此需要 FTC 具有较高的数据处理速度。
- (2) 具有 2 路高速、高精度模拟信号的采集能力: 可实时、高精度完成云台两轴向角度模拟量的采集。
- (3) 提供 2 路 PWM 信号输出接口: 完成两轴云台的转动控制。
- (4) 4 路 UART 接口: 实现与 FTS、TVC、摄像头和数据链电台的实时数据交换。
- (5) 为以后功能扩展预留接口。

2.2 飞行控制系统硬件总体设计

综合考虑 FTC 对硬件的需求, 选用 Philips 公司的 LPC2138 作为系统微处理器。LPC2138 是基于一个支持实时仿真和嵌入式跟踪的 32/16 位 ARM7TDMI-STM CPU 的微控制器, 通过片内 PLL (100 μ s 的设置时间) 可实现最大 60MHz

的 CPU 操作频率, 128B 宽度的存储器接口和独特的加速结构使 32 位代码能够在最大时钟速率下运行, 保证了多任务的执行能力。片上自带 32KB 的 RAM 和 512KB 的高速 Flash 存储器、两路 Uart 口、多路 AD、DA 口, 保证了外围电路的最简化设计, 保证了系统的可靠性^[3]。

硬件系统的总体框图如图 3 所示, LPC2138 芯片自带 2 个 Uart 口, 而作为控制中心的 FTC 需要使用 4 个 Uart 口分别与 FTS、TVC、摄像头和数据链电台通讯, 因此需要外扩两个 Uart 口, 并合理分配 4 个 Uart 口资源。FTC 与 TVC 和数据链电台之间数据交换量较大, 因此采用片上自带的两路 Uart 口分别实现与上述两个分系统的数据交换。由于 FTC 与摄像头之间除了初始上电后进行初始化设置的通讯数据, 正常工作中, 只有 FTC 发送的变焦命令和摄像头返回的焦距状态的少量通讯数据, 因此 FTC 与摄像头之间的通讯采用 I/O 口软件模拟 Uart 口实现。FTC 与 FCS 之间数据量通讯适中, 但如再使用 I/O 口软件模拟 Uart 口, 片上资源占用过多, 容易导致实时性下降, 因此, 采用外扩 1 片 Uart 扩展芯片 TL16C550C 的方法实现与 TVC 的数据交换。

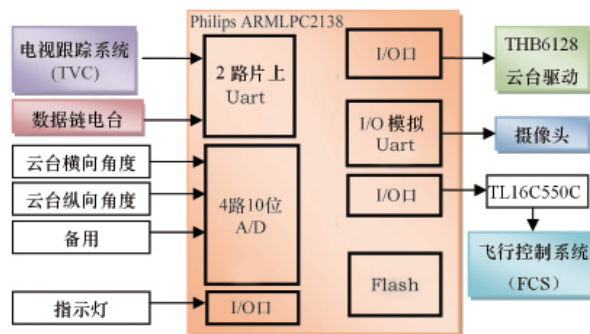


图 3 飞行控制系统硬件总体框图
Fig. 3 Flight control system's hardware architecture

2.3 硬件外扩 Uart 口电路

选用 TL16C550C 实现硬件外扩 Uart 口, TL16C550C 的 SIN 和 SOUT 为外扩出来的 Uart 口, 经过 232 电平转换后与 TVC 相连; 经过三极管反向的“INTPRT”接至 LPC2138 的外部中断输入口, 作为首发数据的中断请求信号; BAUDOUT 输出接至 RCLK 输入, 用作数据接收; 其他的带有标记的引脚与 LPC2138 的普通 I/O 口相连^[4]。

2.4 步进电机驱动电路

FTC 对云台的驱动采用 THB6128 高细分两相混合式步进电机驱动芯片。THB6128 的 M1、M2、M3 全部连接数字电高电平, 采用 1/128 细分, 保证云台的指向精度; 采用 VCC 的均分方式将衰减方式控制端 PFD 的电压设定为 2.5V, 设定为 80%慢衰减、20%快衰减的混合衰减方式, 获得最佳的驱动效果; VREF 为电流设定端, 调整此端电压即可设定驱动电流值 (THB6128 高细分两相混合式步进电机驱动芯片。北京海华

博远科技发展有限公司, 2009)。

3 飞行任务控制系统软件设计

3.1 飞行任务控制系统设计难点

通过对察打一体无人机系统组成及工作过程进行分析可知,FTC 需要同时与 TVC、FCS、摄像头、数据链电台进行大量数据交换,并需要通过 I/O 口控制伺服驱动器的转动,使用 AD 转换获取云台的当前状态,同时还需要实时进行机体轴角与目标偏差角的解算,上述多项任务之间存在大量的数据和逻辑关联,且各个任务的优先级不同。如采用常规的嵌入式串行编程方法无法保证优先级高的任务响应的实时性,且全局变量过多,占用大量 RAM 资源,给程序的可靠性带来极大地隐患。

FTC 除完成与各个系统之间的数据关联传输外,最重要的任务是目标锁定后目标偏差角的实时解算。由于摄像机为人在回路的手动变焦控制,因此,如何将目标在视频中偏差点转换为云台的控制偏差角是设计中的难点。

从无人机系统工作过程分析中可以看出,FTC 需要在内环控制云台的转动,同时还要在外环通过向 FCS 输送偏差角来控制无人机姿态的转动。内外环存在一定的角度变化关联,如何协调控制内外环的角度变化,防止云台和飞机的交错转动是本设计中的难题。

3.2 飞行任务控制系统软件总体设计

针对上述难题,在使用 LPC2138 保证代码执行速度和 RAM 的可用性基础上,系统采用了嵌入式操作系统 USOS II^[9]。USOS II 是针对中低档单片机而设计的嵌入式实时操作系统内核。同时支持按时间片轮转、按优先级抢占、二者结合共 3 种调度策略,具有完善的任务管理功能,提供定时、延时服务,支持消息、信号(signal)通讯机制,支持临界代码段保护,提供二进制、计数型信号量(semaphore)同步对象等,支持 Bottom-half 中断管理机制^[6,7]。

使用嵌入式操作系统 USOS II 后,可将 FTC 与各个系统的关联关系简单地划分成多个任务和中断,整个程序分为 FTC 与 TVC 的数据交换任务、FTC 与数据链电台的数据交换任务、FTC 与摄像机的数据交换任务、FTC 与 FCS 的数据交换任务和对两轴云台的控制任务。与任务并列的程序还有:AD 中断、串口中断、外部中断、定时器中断等。软件系统框图如图 4 所示^[9]。

3.3 主程序设计

主程序主要完成硬件的初始化、操作系统的初始化以及各任务的初始化。

资源分配上,Uart0 分配与数据链电台的数据交换,Uart1 分配与 FCS 的数据交换,外扩的硬件 Uart3 口分配与 TVC 的数据交换;使用可编程计数器阵列(PCA)作为波特率源,实现模拟串口的波特率生成。

考虑中断与任务的执行重要程度,设定中断的优先级大

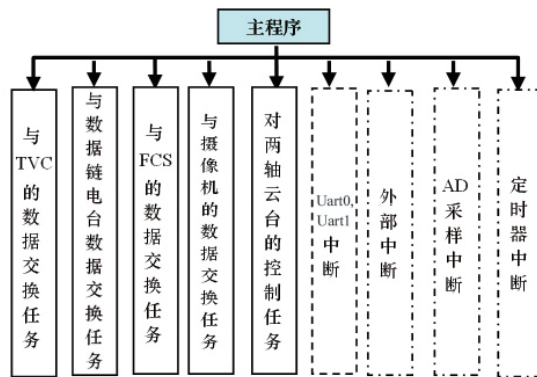


图 4 飞行任务控制系统软件总体框图

Fig. 4 Flight control system's software architecture

于任务的优先级。

中断中,根据各中断特性,优先级设定为:定时器中断>外部中断>Uart0>Uart1>AD 采样中断。

任务根据其特性,优先级设定为:与摄像机的数据交换任务>与 TVC 的数据交换任务>对两轴云台的控制任务>与 FCS 的数据交换任务>与数据链电台的数据交换任务。

由于 FTC 与多个分系统进行数据通讯,因此,在任务设计时,在 RAM 中为每个分系统开辟其专用的数据收发缓冲区,保证数据的高效、无缝传输。

3.4 与 TVC 的数据交换任务设计

FTC 通过 ARM 自带的串口 1 与 TVC 实现数据交换。

3.4.1 FTC 向 TVC 发送的数据类型

(1) 接收 FTC 通过数据链接收的由地面站发送的对 TVC 的设置指令,包括 x 、 y 轴的校轴信号、微调信号;命令指令,包括目标锁定、解锁;状态信息指令,包括当前波门的 xy 方向位置。

(2) FTC 从 FCS 接收的无人机实时姿态参数,包括无人机俯仰角、方位角和滚转角,频率为 25Hz,用于 TVC 计算目标锁定后目标距视频中心的偏差像素。

(3) FTC 通过模拟 Uart 口从摄像头查询获取的焦距信息,用于 TVC 计算目标锁定后目标距视频中心的偏差像素。

3.4.2 FTC 从 TVC 接收的数据类型

(1) TVC 的状态指示了当前 TVC 的工作状态,包括目标丢失、自检正常、自检故障、无视频信号、目标锁定、解锁,FTC 接收到 TVC 的状态信息后直接通过数据链转发至地面站。

(2) 目标锁定后,TVC 输出的视频上目标位置与中心点的偏差值,单位为像素,发送频率为 25Hz。

(3) 变焦命令:当系统处于自动跟踪阶段时,FTC 接收到 TVC 发送的变焦指令(第 1.2.4 节)后,直接转换为摄像头的变焦指令,发送至摄像头进行变焦,变焦频率为 25Hz。

(4) 状态冻结命令:当 TVC 判定此时进入目标冻结阶段时,发出该指令,FTC 接收到该指令后,转发至 FCS,无人机进入冻结状态(第 1.2.5 节)。

3.4.3 目标锁定后 FTC 对目标偏差角计算方法

摄像机焦距信息与视角的换算关系为

$$\alpha = 2 \arctan(d/2f) \quad (1)$$

其中, d 为像高, 系统选用 1/4 英寸 EXview HAD CCD, 水平方向上的尺寸为 3.2mm, f 为焦距, 选用 3.4~122.4mm, 摄像头镜头的变焦倍数为 36 倍, 被细分为 16384(4000H)步, 对应的水平视角 α 为 1.50°~50.4°。无论当前视场角多大, TVC 均将摄像头传入的图像分为 512×288 的网格。经过起飞前的校轴, 将摄像机光轴定义为跟踪轴。进入自动跟踪阶段后, TVC 会实时将新的视频图像与锁定时所选定的目标图像进行比对, 获取锁定目标在当前视窗中的相对位置, 并输出目标与视窗中心点之间的水平 x 轴和垂直 y 轴的像素误差, 如图 5 所示。

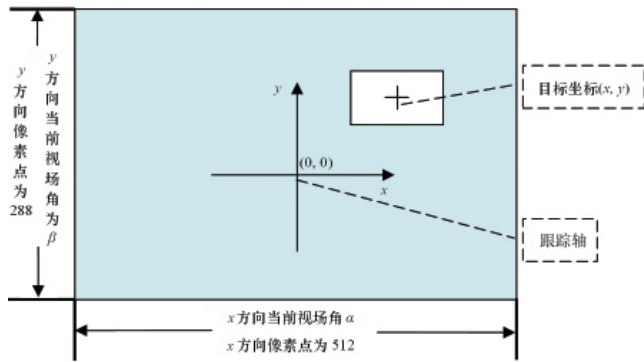


图 5 目标坐标与角度偏差关系示意

Fig. 5 Relationship of deviation between target coordinates and angles

设当前 x 方向视场角为 α , y 方向视场角为 β , 目标基于跟踪轴坐标 (x, y) , 则目标 x 方向角度偏差为 $\Delta\alpha = \alpha/512$; 则目标 y 方向角度偏差为 $\Delta\beta = \beta/512$ 。主控系统将该结果换算为目标与跟踪轴之间的角度偏差, 并将其转给伺服控制单元, 控制云台指向跟踪目标。

3.5 与摄像机的数据交换任务设计

FTC 与摄像机的数据交换任务较为简单, 只是根据地面站或 TVC 的要求, 对摄像机发送变焦命令, 并接收摄像机反馈的变焦结果, 将变焦结果返回地面站和 TVC。为保证自动跟踪状态下的跟踪准确性, 该任务的优先级最高。

3.6 对两轴云台的控制任务设计

对两轴云台的控制任务包括对云台的控制指令和云台的状态查询。

3.6.1 云台的状态查询

系统通过查询 AD 转换中断获取的云台两轴的角度信号, 实时闭环计算当前云台的两轴准确指向方位。

3.6.2 地面站对云台的控制

系统状态处于(I, II, III)阶段(第 1.2 节)时, 本任务通过电台接收地面站对云台的控制指令直接转发至云台实现地面站对云台的控制。

3.6.3 FTC 对云台的控制

系统状态处于自动跟踪阶段时, 本任务接收 TVC 发送的目标与视窗中心点之间的水平 x 轴和垂直 y 轴的像素误差, 经过结合摄像头焦距的计算后, 得出目标与跟踪轴之间的角度差 $\Delta\alpha$ 和 $\Delta\beta$, 结合 PID 算法向云台发送转动指令。

3.6.4 对云台的控制率设计

对比位置式控制算法, 本设计对云台的控制使用增量式算法, 即使出现云台方位的突然性变化, 只影响控制增量, 不会产生执行机构的突变; 而且不需要针对不同的云台进行试验获取先验数据^[9]。

使用增量式控制率, 其输出量应为

$$u(k) = u(k-1) + \Delta u(k) \quad (2)$$

对上式进行 Z 变换为

$$U(Z) = Z^{-1}U(Z) + \Delta U(Z) \quad (3)$$

得到增量环节的离散传递函数为

$$\frac{U(Z)}{\Delta U(Z)} = \frac{1}{1 - Z^{-1}} = \frac{Z}{Z - 1} \quad (4)$$

通过使用增量式算法, 解决了内外环角度变化交联可能导致的云台和飞机交错转动的难题。FTC 对云台的转动控制快速、准确、稳定, 误差不大于 3mrad, 超调小于 5%, 完全满足目标锁定对云台转动的要求。

3.7 与 FCS 的数据交换任务设计

FTC 与 FCS 之间通过 TL16C550C 的外扩串口实现数据交换。

3.7.1 从 FCS 接收数据

FTC 实时从 FCS 接收无人机的姿态角数据, 并转发至 TVC, 为 TVC 进行视频的增稳提供基础数据。

3.7.2 向 FCS 发送命令

当全系统处于自动跟踪阶段, 且目标与跟踪轴之间的角度差 $\Delta\alpha$ 和 $\Delta\beta$ 减小到预定范围 $(-A, A)$ 和 $(-B, B)$ 以内时, FTC 开始将目标与跟踪轴之间的角度差 $\Delta\alpha$ 和 $\Delta\beta$ 转换为无人机轨迹偏差控制命令传送至 FCS, 并发送锁定命令。通知无人机姿态稳定仍然由 FCS 控制, 但航迹控制已由预先设定航线转至 FTC 控制的减小机体与云台的偏差角控制状态。

当全系统进入目标冻结阶段时, FTC 向 FTS 发送目标冻结指令, FCS 接收后, 固定舵机位置, 无人机按原航线飞向目标直至命中。

3.8 与数据链电台的数据交换设计

FTC 通过 ARM 自带的 Uart 口与数据链电台实现数据交换。

3.8.1 FTC 从数据链电台接收的数据类型

(1) 地面站发送的对 FTC 的设置和控制指令, 接收后解析指令并执行相应操作。

(2) 地面站发送的对 TVC 的设置和控制指令, FTC 接收后直接转发至 TVC。

(3) 地面站发送的对 FCS 的设置和控制指令, FTC 接收后直接转发至 FCS。

(4) (I,II,III)阶段,地面站发送对摄像头的设置和控制指令,FTC接收后直接转发至摄像头。

(5) (I,II,III)阶段,地面站发送对云台的控制指令,FTC接收后驱动电机实现云台伺服控制。

3.8.2 FTC 向数据链电台发送的数据

由于 FTC 通过数据链电台向地面站发送的数据量较多,因此波特率设置高于其他 3 个端口,为 38400bit/s。且由于传输的大部分数据为各分系统的自身状态参数,因此,FTC 在接收到分系统数据后将状态参数和命令指令进行优先级区分,对于状态数据采用 2Hz 的频率发送,命令指令和关键控制数据进行实时发送,发送的数据包括以下类型:

- (1) FTC 向地面站返回的自身状态数据。
- (2) FTC 转发 TVC 返回给地面站的自身状态数据。
- (3) FTC 转发 FCS 返回给地面站的自身状态数据。
- (4) FTC 转发摄像头返回给地面站的自身状态数据。
- (5) FTC 向地面站发送的云台状态数据。

(6) 自动跟踪阶段,FTC 向 FCS 发送无人机轨迹偏差控制命令通过数据链转发至地面站人员提供指示。

3.9 中断程序设计

定时器中断:定时器 0 中断时间被设定为 1ms,具有最高的优先级,实现 FTC 全系统的基准时钟标定。

可编程计数器阵列(PCA)中断:本设计中使用 PCA 作为波特率源串口提供收发波特率。

Uart0 和 Uart1 中断:Uart0 和 FTC 与 TVC 的数据交换任务,Uart1 和 FTC 与数据链电台数据交换任务配合完成上述两个任务的数据收发控制。

外部中断:外部中断与 TL16C550C 的 INTPRT 相连,实现外扩串口的数据接收提醒。

AD 中断:该中断完成对云台两个方位模拟信号的数据采集,采样频率设定为 20kHz,采样获取的数据存放在缓冲区内,云台控制任务每 50ms 从缓冲区读取数据,经过平滑滤波计算得到当前云台的位置信息。

4 结论

目前,该 FTC 控制系统已经运用在小型察打一体无人机系统中,FTC 对各分系统的数据收发稳定可靠,转发的数据误码率低于 0.1%;对云台的转动控制快速、准确、稳定;发送给

飞控系统的轨迹偏差控制角准确。经过多次试飞和空中钻圈实验(在距地约 70m 位置树立彩色圈作为模拟目标,飞机钻圈代表攻击成功,钻圈后通过发送解锁指令恢复无人机的自主飞行状态),钻圈成功率超过 60%,完全符合指标设计要求,可为大型察打一体无人机的研制提供参考。

参考文献 (References)

- [1] 荣长军, 刘志刚, 刘代志. 小型攻击无人机的电视引导攻击技术[J]. 飞航导弹, 2006(9): 41-43.
Rong Changjun, Liu Zhigang, Liu Daizhi. Winged Missiles Journal, 2006 (9): 41-43.
- [2] 赵鹏, 沈庭芝, 单宝堂. 一种基于粒子滤波的无人机电视导引系统目标跟踪算法[J]. 光学精密工程, 2008(1): 134-140.
Zhao Peng, Shen Tingzhi, Shan Baotang. Optics and Precision Engineering, 2008(1): 134-140.
- [3] Philips Semiconductors. LPC2131/2132/2138 user manual[R/OL]. [2004-11]. <http://www.zlgmcu.com/philips/arm/lpc2132.asp>.
- [4] Texas Instruments Incorporated. TL16C550C asynchronous communications element with auto flow control[EB/OL]. [2002-11]. <http://www.21ic-search.com/pdf-D166B7F95313BCE6/TL16C550C.html>.
- [5] 嵌入式软件网. USOS II 嵌入式操作系统使用手册 [R/OL]. 2006-06. <http://www.mcu-soft.com>.
Embedded software net. USOS II embedded operating system manual [R/OL]. 2006-06. <http://www.mcu-soft.com>.
- [6] 郑玉全. 微型抢占式实时操作系统的设计与实现[J]. 单片机与嵌入式系统, 2004(1): 27-31.
Zheng Yuquan. MCU and Embedded Operating System, 2004(1): 27-31.
- [7] 蒋玉峰, 陈杰, 舒兴楼. 基于 RTOS 的智能供水系统[J]. 微计算机信息, 2007(9): 66-68.
Jiang Yufeng, Chen Jie, Shu Xinglou. Microcomputer Information, 2007 (9): 66-68.
- [8] 陈杰, 陈超, 周建军, 等. 基于 RTOS 的小型无人机飞行控制系统[J]. 电子技术应用, 2009(4): 37-41.
Chen Jie, Chen Chao, Zhou Jianjun, et al. Application of Electronic Technique, 2009(4): 37-41.
- [9] 陈青青, 陈杰, 范丹丹, 等. 实用微型涡轮发动机控制系统的设计[J]. 计算机测量与控制, 2007(6): 54-57.
Chen Qingqing, Chen Jie, Fan Dandan, et al. Computer Measurement & Control, 2007(6): 54-57.

(责任编辑 岳臣)

《科技导报》征集“封面文章”

为快速反映我国最新科技研究成果,《科技导报》拟利用刊物最显著位置——封面将最新科研成果第一时间予以突出报道。来稿要求:研究成果具创新性或新颖性;反映该领域我国乃至世界前沿研究水平;可以图片形式予以反映,图片美观、清晰、分辨率超过 300dpi;文章篇幅不限,要说明研究的背景、方法、取得的结果,以及结论。在线投稿:www.kjdb.org。