

察打一体无人机地面站武器控制系统设计

马夏莹¹, 贺若飞¹, 刘宏娟¹, 左军翼²

(1. 西安爱生技术集团公司, 西安 710065; 2. 西北工业大学 航空学院, 西安 710072)

摘要: 介绍了察打一体无人机地面站武器控制系统的组成、工作原理、软件设计以及关键技术实现; 提出并实现了进入攻击航线、攻击区域解算与显示、目标信息管理、图像解压与显示、武器控制与发射等多项关键技术; 飞行试验结果表明, 该系统稳定性好、实时性高, 操作简单, 减轻了操作人员的负担, 降低了操作人员的失误概率, 提高了察打一体无人机系统的自主攻击能力, 为察打一体无人机激光制导导弹的使用提供了简便实现的方法。

关键词: 察打一体无人机; 地面站; 武器控制系统

Design of Weapon Control System for Reconnaissance/attack UAV's Ground Control Station

Ma Xiaying¹, He Ruofei¹, Liu Hongjuan¹, Zuo Junyi²

(1. Xi'an ASN Technology Group Co., Ltd., Xi'an 710065, China;

2. School of Aeronautics, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: This paper introduces a design of the GCS weapon control module for reconnaissance/attack UAV system, including its composition, working flow, software architecture. This paper also proposes and implements multiple key technologies including the attack route planning algorithm, attacking area calculation and visualization, target information management, reconnaissance video decompression and display and weapon controlling and launching. Flight tests show that the proposed UAV weapon control system supports the UAV weapon's full attacking cycle comprehensively. It has a good stability, high real-time performance, simple operation and significantly reduces both the operating workload and the failure probability. It increases the automated attacking ability of the reconnaissance/attack UAV system and provides an easy method for the application of the UAV equipped LASER guided missiles.

Keywords: reconnaissance/attack UAV; GCS; weapon control system

0 引言

无人机目前已经从过去主要执行空中侦察、战场监视和毁伤评估等任务的战略支援装备, 升级成为能够携带和施放致命或非致命武器执行压制敌防空系统、对地攻击等作战任务的主要装备^[1-4]。察打一体(侦察/打击)无人机集侦察与攻击能力于一体, 具有侦察、监视、目标捕获和实时打击能力, 极大地缩短了从发现到摧毁目标的时间^[5-6]。

无人机地面控制系统, 即地面站 GCS (ground control station), 是无人机的重要组成部分。它是无人机系统的指挥控制中心^[5], 可以完成无人机的飞行操纵、数据链管理、机载任务设备控制等任务, 同时以数字和图形形式提供飞机飞行状态、图像侦察信息, 实现对无人机全系统的监控^[7]。

武器控制系统作为察打一体无人机地面站控制体系的一个重要组成部分, 是实现目标打击的关键。本文针对察打一体无人机飞行平台挂载光电侦察载荷与激光制导导弹, 对静止或者移动目标进行侦察、跟踪、锁定与打击的需求, 设计察打一体无人机地面站武器控制系统, 实现察打一体无人机对地面目标的攻击。

1 武器控制系统设计

察打一体无人机地面站通过无线电数据链实现对无人机飞行平台、光电侦察载荷和武器设备的监控。地面站将控制指令编码发送至无人机, 同时接收并解码显示无人机状态、光电侦察载荷状态、武器设备状态和侦察图像信息。地面站主要由数据处理软件、飞行监控软件、导航监控软件、任务监控软件和信息显示软件等组成。其中数据处理软件、任务监控软件和信息显示软件构成地面站武器控制系统。

地面站的工作原理是地面数据终端 GDT (ground data terminal) 接收无人机遥测数据, 通过 RS422 串行接口和网络发送给数据处理软件, 数据处理软件经解码处理生成无人机遥控遥测数据网络数据包^[8-9], 以组播方式经网络集线器发送到接入网内的其它软件, 其中包括任务监控软件和信息显示软件。数据处理软件通过网络接收地面站其它软件发送的控制指令, 编码生成无人机遥控数据, 并通过 RS422 串行接口发送给地面数据终端, 完成对无人机的控制。地面站武器控制系统工作流程如图 1 所示。

地面站武器控制系统由三个软件组合实现, 其功能组合如图 2 所示。

1.1 数据处理软件

数据处理软件是整个无人机地面站的信息中枢, 在地面站后台运行, 完成与其它软件的数据交互及数据处理。数据处理软件主要包括以下几个功能。

1) 控制指令的编码与发送: 实时接收任务监控软件发送

收稿日期:2018-01-29; 修回日期:2018-03-06。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61473227)。

作者简介:马夏莹(1988-),女,陕西大荔人,硕士研究生,工程师,主要从事无人机地面站任务控制与信息处理方向的研究。

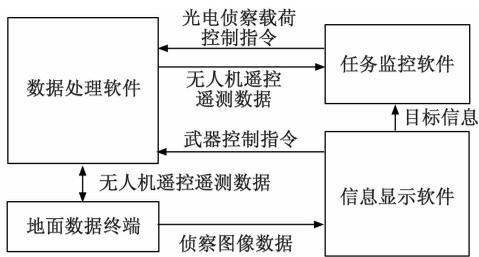


图 1 武器控制系统组成

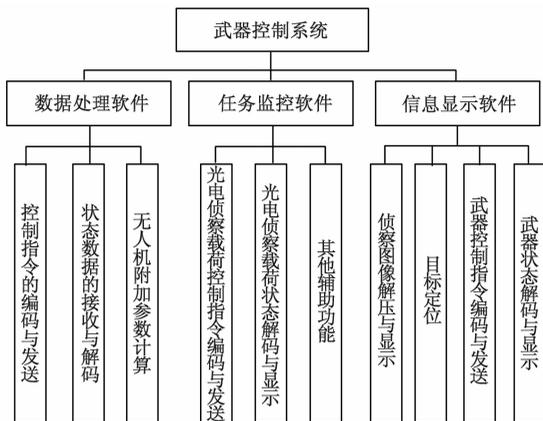


图 2 武器控制系统软件功能组合

的光电侦察载荷控制指令及任务规划指令; 实时接收信息显示软件发送的武器控制指令。数据处理软件定时编码生成一帧无人机遥控数据通过串口发送给地面数据终端。

2) 状态数据的接收与解码: 定时接收地面数据终端通过串口发送的无人机遥测数据, 收齐一帧后将数据解码并填入无人机遥控遥测数据相应单元, 以组播方式经网络集线器发送到接入网内的其它软件。

3) 无人机附加参数计算: 数据处理软件定时将收到的无人机遥测数据经过计算后生成无人机附加参数 (例如无人机爬升率、数据链地面向天线数字引导数据等), 并填入遥控遥测数据相应单元。

1.2 任务监控软件

任务监控软件界面定时刷新, 更新无人机和光电侦察载荷遥测信息, 以文字和图形方式显示无人机信息和光电侦察载荷信息, 以及定时发送光电侦察载荷控制指令。

1) 光电侦察载荷控制指令编码与发送: 定时向数据处理软件发光电侦察载荷控制指令, 主要包括对电视传感器、红外传感器和激光器的控制。

2) 光电侦察载荷状态解码与显示: 定时接收数据处理软件发送的无人机遥控遥测数据, 对光电侦察载荷状态进行解码与显示, 主要包括光电侦察载荷的工作模式、方位角、高低角、自检状态、激光工作状态、激光测距距离等。

3) 其它辅助功能: 包括地图管理、目标信息管理与装订、光电侦察载荷初步态势显示、攻击航线生成、攻击区域解算与显示等。

1.3 信息显示软件

信息显示软件接收地面数据终端发送的侦察图像数据, 对侦察图像进行解压与显示。操纵手跟踪目标对目标定位后, 信

息显示软件自动向任务监控软件发送目标信息。操纵手控制光电侦察载荷持续跟踪目标择机进行激光照射并完成武器发射流程。

1) 侦察图像解压与显示: 实时接收地面数据终端软件发送的侦察图像数据, 将收到的图像数据经过字节同步、帧同步后, 对压缩图像调用软解压库进行解压, 显示解压获得的 RGB 图像数据。

2) 目标定位: 定位时对实时侦察视频进行暂停显示, 根据当前无人机飞行参数和光电侦察载荷参数信息计算获得当前图像上所选目标点的位置信息, 并以文档方式进行信息保存, 同时将目标信息自动发送至任务监控软件进行目标信息管理。

3) 武器控制指令编码与发送: 实时发送包括预发射、准备发射、发射、取消发射、装订安全时间等武器控制指令至数据处理软件。

4) 武器状态解码与显示: 定时接收数据处理软件发送的无人机遥控遥测数据, 对武器状态信息进行解码与显示, 主要包括自检结果、在轨状态、导弹状态、通讯状态、安全时间倒计时等。

2 软件主要实现方法

数据处理软件、任务监控软件和信息显示软件开发的平台为 Visual Studio 2012 和 NI Measurement Studio 开发套件。下面分别列举各软件中的主要的实现方法。

2.1 网络数据收发

数据处理软件、任务监控软件和信息显示软件之间的数据收发通过以太网接口实现, 网络通讯协议为 UDP 组播, 本系统采用 Windows Sockets 2.2 版。首先调用启动函数, 启动函数必须是软件第一个调用的 Windows Sockets 函数。软件只有在一次成功的启动函数启动之后才能执行其它的 Windows Sockets API 函数。之后使用 Socket () 函数创建套接字, 打开本地配置文件, 读取本机端口号, 外地端口号和发送 IP 地址等。套接字创建成功后, 调用 Bind () 函数建立连接。最后调用异步函数来设定接收消息, 以便软件对网络消息及时进行响应。

2.2 地图界面设计

遵循直观、便于操作等原则, 任务监控软件的设计以 Skyline 软件三维地图为背景^[10], 在界面周边设置工具栏, 以按钮方式弹出各个设置、控制、操作、显示对话框, 在使用时弹出, 不使用时隐藏。

任务监控软件是由 MFC 生成的文档 Windows 应用程序, 由主框架生成了工具栏, 菜单栏和状态栏以及视图程序, 在工具栏中设置各个弹出对话框按钮。在视图程序中创建地图引擎, 读取地图库路径, 调用地图数据库并显示, 在视图类程序中对变量、标志、指针、缓冲区、套接字、对话框、网络等进行初始化; 通过网络接收来自数据处理软件的网络数据包, 存放到计算机网络缓冲区; 采用定时器事件触发消息, 对该消息进行应答并向各个显控单元发送刷新消息来显示刷新。各对话框响应定时器中的刷新消息对界面和数据进行刷新。

2.3 数字视频解压与显示

由于数字视频数据量庞大, 为保证数据处理的实时性及计算机处理器的充分利用, 信息显示软件图像解压模块采用多线程处理技术。线程 1 主要负责从网络中接收数据, 通过字节同

步及帧同步，将有效的图像数据准备好放入缓冲区中。线程 2 主要负责从缓冲区中读取有效图像数据帧，送给解码器进行解码，并解码出每一帧图像。

图像显示的显示方式采用 DrawDIB 函数组，将解压获得的 RGB 数据显示在屏幕上。

3 关键技术设计

3.1 进入攻击航线

任务监控软件依据目标位置、攻击高度、风场、弹道包线等信息自动生成攻击航线，解算出进入点和进入方向（可手动调整）发送至无人机。无人机机载导航软件自动进行航迹过渡和切入控制。进入攻击航线主要分为两步，分别是攻击航线切入与航向惯性对准。

攻击航线切入：攻击航线切入采用定点导航控制模式，机载导航软件控制无人机以平缓方式进入攻击航线。进入方式分为从圈外进入和从圈内进入两种，可根据攻击半径选择进入方式。设计有两种半径进行选择，3 km 半径的选择从圈外进入，6 km 半径的选择从圈内进入，可以选择顺时针进入或逆时针进入，如图 3 所示。

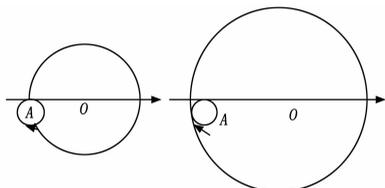


图 3 攻击航线切入方式示意图

航向惯性对准：机载导航软件控制无人机平滑切入攻击航线，当无人机进入攻击航线直线段后，收到预发射指令后自动进行航向惯性对准，航向惯性对准的控制方式采用给定航向角控制模式，给定航向角的值为攻击直线方向。

3.2 攻击区域解算与显示

任务监控软件依据导弹的弹道包线、无人机飞行高度、速度和风场等参数自动解算投弹区，并以雷达图和地图叠加两种方式进行显示，以辅助投弹决策。其中雷达图叠加在信息显示软件上，地图叠加采用半透明方式叠加在任务监控软件地图背景上。攻击区域示意图如图 4 和图 5 所示。

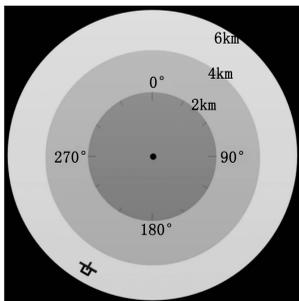


图 4 攻击区域雷达图

3.3 目标信息管理

任务监控软件包含目标信息表，目标信息表中的目标来源可按先验信息预先设置、可点选地图上的点自动获取、可获取机载导航软件实时定位结果，也可获取来自信息显示软件的目标定位结果。可以对目标信息表中的目标进行编辑、增加、删

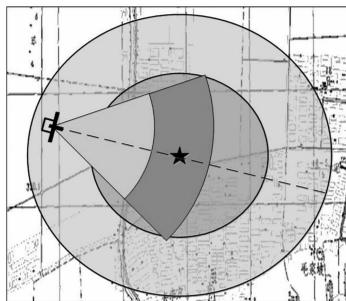


图 5 攻击区域地图叠加显示图

除、保存等操作。

操纵手确认攻击目标后，将目标信息表中的目标装订至无人机，无人机接收到装订目标后，生成目标地理跟踪控制指令，引导光电侦察载荷指向目标。

3.4 图像解压与显示

光电侦察载荷下传的侦察视频数据流符合 H. 264 标准，视频可采用商用播放器（如暴风影音等）进行播放。

侦察图像数据主要分为图像数据和无人机状态参数两部分。无人机状态参数复接在标准 H. 264 视频流 SEI 段用户数据区，如图 6 所示。其中无人机状态参数包含无人机飞行参数和光电侦察载荷参数两部分。

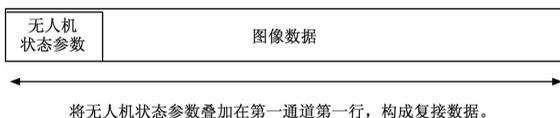


图 6 侦察图像数据结构示意图

本系统中视频叠加数据使用 H. 264 标准的 SEI NAL 非注册用户类型数据传输，NAL 类型为 0x16，非注册用户数据类型表示为 05。叠加的无人机状态参数在目标定位过程中起辅助作用。叠加数据在商用软件解码时自动跳过。

3.5 武器控制与发射

武器控制与发射技术分为目标跟踪与锁定、导弹控制与发射和导弹安全性设计三部分。

3.5.1 目标跟踪与锁定

操纵手通过信息显示软件观察光电侦察载荷图像，发现目标后控制载荷对目标进行跟踪。载荷稳定跟踪目标后，机载导航软件实时解算目标位置信息，同时操纵手可对当前光电侦察图像进行暂停显示，通过鼠标点选目标进行目标定位。

3.5.2 导弹控制与发射

地面站任务监控软件依据目标位置、无人机位置、飞行高度、弹道包线等信息通过计算，在临近攻击区域给出攻击提示，在无效区域给出无效攻击提示，以辅助操纵手完成攻击。

无人机沿攻击航线进入攻击区域后，操纵手控制无人机光电侦察载荷稳定跟踪目标并进行激光照射，同时完成导弹发射。

3.5.3 导弹安全性设计

为了防止发射导弹在无人机起飞前误操作，本系统对导弹发射的安全性进行设计，设计如下两种安全性限制。

1) 空速限制：当空速大于 70 km/h 时，导弹发射按钮使能，否则导弹发射按钮不使能，不能进行导弹发射。

2) 安全时间限制: 在无人机起飞前设置一个安全时间, 在此时间内导弹发射按钮不使能, 不能进行导弹发射。达到安全时间后, 才可以进行导弹发射。

4 试验验证

导弹打靶是对察打一体无人机系统主要察打性能与功能的验证, 本系统经某型察打一体无人机试验, 试验过程如下, 结果如表 1 所示。

- 1) 无人机起飞, 在靶区内飞行至相对高度 1 km;
- 2) 条件允许的情况下无人机沿顺风或逆风方向进入攻击区;
- 3) 光电侦察载荷捕获并锁定目标, 操纵手控制无人机沿规划航线向目标飞行;
- 4) 在无人机进入攻击区后, 控制无人机接近攻击航向后, 转为定向 (与规划攻击直线方向一致), 使无人机航向指向目标, 在投弹允许距离范围内进行导弹发射;
- 5) 重新调整无人机进行第二次导弹发射;

表 1 验证指标和结果

	试验条件	结果
侦察能力	1) 可见光分辨率 1024×768 2) 焦距≥220mm 3) 最小视场角 2.4°×1.8° 4) 侦察距离 6km	地面分辨率达 0.24m 可识别 4m×4m 目标
最大攻击距离	飞行高度≥2500m	≥6km
打击精度	1) 导弹制导精度 3m(CEP) 2) 激光束散角≤0.3mrad 3) 光电侦察载荷照射精度≤0.35mrad 4) 瞄准线误差≤0.2mrad	1.2m

此次打靶试验, 无人机飞行高度为 1 km, 飞行过程中操作手可清晰的识别目标, 并对目标进行稳定跟踪。到达攻击区

(上接第 112 页)

6 结束语

针对某型搜索雷达在实际对低空目标威力检飞试验中出现的点迹丢失、航迹中断现象展开分析, 进行了多路径效应理论分析及仿真验证。从数据分析及仿真结果可以看出, 对于海背景下宽波束搜索雷达在检测低空掠海目标时, 多路径效应带来的波束分裂现象会使雷达的威力方向图产生凹口 (盲区), 凹口深度与海平面的平坦度以及天线架设高度有关^[10], 当目标处于凹口 (接收信号衰减) 区时, 目标点迹回波容易出现丢失。因此在雷达设计及评估雷达对低空目标的作战效能时, 多路径效应的影响不可忽略。

参考文献:

- [1] 张华睿, 杨宏文, 胡卫东, 等. 警戒雷达与跟踪雷达的目标指示交接方法 [J]. 现代雷达, 2011, 33 (9): 19-24.
- [2] 盖世昌, 许腾, 侯博, 等. 复杂电磁环境下搜索雷达探测概

域后无人机可平稳的切入攻击航线, 航向惯性对准精度高。在导弹攻击距离内发射激光制导导弹, 激光照射器照射精度高, 导弹命中 4 m×4 m 靶板, 距离靶心 1.2 m。

5 结论

由数据处理软件、任务监控软件和信息显示软件构成地面站武器控制系统已成功应用于某型察打一体无人机地面控制站。经多次飞行试验验证, 该系统稳定性好、实时性高, 操作简单, 减轻了操作人员的负担, 降低了操作人员的失误概率, 提高了察打一体无人机系统的自主攻击能力, 为察打一体无人机激光制导导弹的使用提供了简便实现的方法。

参考文献:

- [1] 印骏, 谭玲, 谭绍杰. 美军无人机的作战应用及其发展趋势 [J]. 飞航导弹, 2010 (8): 26-29.
- [2] 王超, 董秋杰. 侦察打击一体化无人机武器系统的研究 [J]. 科技咨询导报, 2009 (4): 6-7.
- [3] Secretary of Defense (USA). Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2005-2030 [R]. Office of the Secretary of Defense (USA) Report, 2005.
- [4] Sweetman. Bill Drones That Sting—combat UAV Programs Take the Offensive [J]. Journal of Electronic Defense, 2004 (6): 34-40.
- [5] 李大健, 贾伟, 刘慧霞, 等. 一种轻型察打一体化无人机系统设计 [J]. 火力与指挥控制, 2014 (3): 137-139.
- [6] 张安, 曹璐, 郭凤娟. 无人作战飞机侦察/打击一体化自主控制关键技术探讨 [J]. 电光与控制, 2010, 17 (1): 1-6.
- [7] 刘洋, 马丽娜, 刘磊. 无人机地面站飞行监控系统软件设计 [J]. 计算机测量与控制, 2014 (1): 1-6.
- [8] 张治生. 无人机地面站系统设计与开发 [D]. 西安: 西北工业大学, 2007.
- [9] 张波, 陈知秋, 刘江. 无人机测控信息实时处理与记录分析系统设计 [J]. 测控技术, 2008, 27 (12): 33-35.
- [10] 梁吉欣, 左小清. Skyline 在 Web 三维 GIS 中的应用研究 [J]. 昆明理工大学学报 (理工版), 2009, 34 (2).
- [1] 率仿真分析 [J]. 指挥控制与仿真, 2010, 32 (2): 81-83.
- [3] 王利军, 郭建明, 郝晶. 多路径效应对雷达探测低空巡航导弹的影响 [J]. 雷达科学与技术, 2010, 1 (8): 7-10.
- [4] 陈相麟, 蒋谱成. 雷达试验 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2004.
- [5] 韩青山. 雷达原理与系统 [M]. 石家庄: 军械工程学院出版社, 1997.
- [6] 王利军, 朱和平, 郭建明, 等. 多径条件下雷达探测巡航导弹的性能研究 [J]. 雷达科学与技术, 2010, 8 (3): 204-208.
- [7] 丁鹭飞, 耿富录. 雷达原理 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2001.
- [8] 刘永义, 党亚民, 薛树强. 海面多路径效应建模研究 [J]. 大地测量与地球动力学, 2011, 31 (2): 121-124.
- [9] 耿文东, 乔铁英, 陈峰. 组网雷达减小多路径效应影响的探讨 [C]. 烟台: 第九届全国雷达年会学术论文集, 2004.
- [10] 于智春, 李中伟, 卢长海. 降低海面多路径效应的研究 [J]. 现代电子技术, 2010, 1: 15-17.