

引用格式:周超,贾平法,叶佳,等.面向民航无线电监测的无人机地面站系统开发[J].电光与控制,2021,28(5):107-110. ZHOU C, JIA P F, YE J, et al. Development of UAV ground station system for civil aviation radio monitoring[J]. Electronics Optics & Control, 2021, 28(5):107-110.

## 面向民航无线电监测的无人机地面站系统开发

周 超<sup>a</sup>, 贾平法<sup>a</sup>, 叶 佳<sup>a</sup>, 何松儒<sup>a</sup>, 李首庆<sup>b</sup>

(中国民用航空飞行学院, a. 民航飞行技术与飞行安全科研基地; b. 民航监察员培训学院, 四川 广汉 618307)

**摘 要:** 针对基于无人机进行空中无线电监测时, 无人机操作与无线电监测任务需要不同人员完成的问题, 通过对 Mission-Planner 开源地面站进行二次开发, 将无线电信号测向定位功能融入传统地面站, 实现了一个人对无人机的控制和无线电监测; 最后进行了空中无线电监测及交叉定位测试, 测试结果验证了空中无线电监测的优越性及开发地面站系统的可行性; 该系统对提高民航无线电的监测效率, 具有一定的实际指导意义。

**关键词:** 民航; 无线电干扰; 无人机; 地面站开发

**中图分类号:** V351.3

**文献标志码:** A

**doi:** 10.3969/j.issn.1671-637X.2021.05.024

## Development of UAV Ground Station System for Civil Aviation Radio Monitoring

ZHOU Chao<sup>a</sup>, JIA Pingfa<sup>a</sup>, YE Jia<sup>a</sup>, HE Songru<sup>a</sup>, LI Shouqing<sup>b</sup>

(Civil Aviation Flight University of China, a. Key Laboratory of Flight Techniques and Flight Safety, CAAC;

b. Civil Aviation Inspector Training Academy, Guanghan 618307, China)

**Abstract:** Aiming at the problem that different operators are required to complete the drone operation and radio monitoring tasks when using drones for aerial radio monitoring, the radio signal direction finding and positioning function was integrated into the traditional ground station. It was realized that a single operator could implement both UAV control and radio monitoring in the ground station. Finally, air radio monitoring and cross positioning tests were carried out. The test results verified the superiority of air radio monitoring and the feasibility of the ground station system development. This system has certain practical guiding significance for improving the efficiency of civil aviation radio monitoring.

**Key words:** civil aviation; radio interference; UAV; ground station development

### 0 引言

随着科技发展与社会进步, 无线电技术开始应用于国民生活的方方面面。但是无线电技术的广泛应用也给民航通信带来了巨大的挑战, 民航无线电受干扰的事件时有发生。仅民航华东地区在 2015 年就收到了 334 起受干扰报告, 之后每年报告的干扰案例均超过了 300 起, 且空中干扰占比最大, 超过 50%, 民航业已成为无线电干扰的重灾区<sup>[1]</sup>。民航无线电干扰不仅会影响航空器与地面导航设备的正常通信, 严重时甚

至引发民航通导设备的主备机同时失效, 造成通信、导航、监视服务暂时中断等危险情况, 成为民航飞行安全的巨大隐患。

目前排查无线电干扰最广泛的方式还是无线电监测车、监测站等地面监测手段。但是传统的地面监测方式由于存在障碍物遮挡, 无线电波存在折射、反射等现象, 致使监测效率比较低; 使用传统的有人机、直升机携带无线电监测设备升空进行空中监测, 又存在空域限制、飞行成本高、审批流程复杂等问题。而使用无人机携带无线电监测设备进行空中监测, 不仅可以克服地面二维监测的弊端, 找到无线电信号的直射波, 而且相较于传统空中监测方式, 具备成本低、机动灵活、易操作等优点。

在现有的无人机监测方式中, 无人机操作与无线电监测还是两个相对独立的部分, 在实际操作中各需要一名操作人员完成相应任务。本文旨在通过对 Mis-

收稿日期: 2020-07-20

修回日期: 2021-04-23

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFC0809500); 2019 大学生创新创业训练计划项目(S201910624211); 民航飞行技术与飞行安全科研基地开放基金重点项目(F2015KF02)

作者简介: 周 超(1980—), 男, 安徽濉溪人, 博士, 教授, 研究方向为民航电磁环境效应, 民用无人机。

sion-Planner 开源地面站进行二次开发,将无线电监测功能加入到传统地面站,提高系统的运行效率。

## 1 基于无人机的民航无线电监测定位系统

为了完成民航无线电监测定位的任务,搭建了一套基于无人机的民航无线电监测系统,该系统主要由无人机、机载无线电监测设备、频谱监测软件和无人机地面站系统 4 部分组成。

系统选取大疆 S1000 作为飞行载具平台,搭载某无线电综测仪升入空中,该无线电综测仪包括便携式接收器和测向天线等,测向天线的方向与机头方向一致,地面站版本为 DJI 地面站 4.0,整体构成如图 1 所示。



图 1 无人机无线电监测系统整体构成

Fig. 1 Physical picture of the UAV radio monitoring system

地面站操作人员负责无人机状态参数监测及超视距飞行任务规划,其中,对无人机的控制行为包括移动、悬停、自转等,通过一系列动作的组合最终完成测向搜索任务;另一名无线电监测人员需要在这个过程中实时追踪频谱监测软件中的无线电信号参数变化,并进行必要的信号存储、分析工作,二者工作相辅相成。

## 2 交叉定位算法

在该空中无线电监测定位系统中,主要通过旋转天线法及交叉定位法来定位干扰源位置。首先,将测向天线固定在无人机上,利用无人机自身的旋转带动天线旋转,在定向天线旋转过程中通过观察无线电频谱监测软件各方向的信号幅度大小来判断干扰源方位,同时将信号幅度最大时无人机的经纬度位置、方位角、俯仰角等信息保存下来;然后,以同样的方式记录下在第二个观测位置时的位置角度信息;最后,通过交叉定位算法完成坐标转换、定位三角几何计算等过程,确定干扰源位置。

此次干扰源定位模块所采用的定位算法是交叉定位算法,基本原理如图 2 所示。

已知无人机在  $M, N$  点的经纬高坐标分别为  $(X_m, Y_m, Z_m), (X_n, Y_n, Z_n)$ , 两点对应的方位角和俯仰角分别为  $\alpha_m, \beta_m$  和  $\alpha_n, \beta_n$ , 再通过简单的三角几何计算即可

确定干扰源  $P$  的地理位置  $(X, Y, Z)$ 。由于无人机通过 GPS 获取的经纬高坐标是大地坐标系下的坐标,电子地图的位置输出也是大地坐标,而交叉定位算法是在大地直角坐标系下进行的,因此会涉及两次大地坐标系的转换。主要的定位流程如图 3 所示。

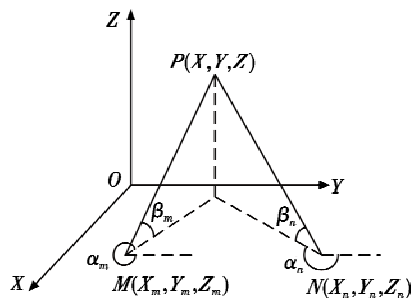


图 2 交叉定位算法原理图

Fig. 2 Schematic diagram of the cross-location algorithm

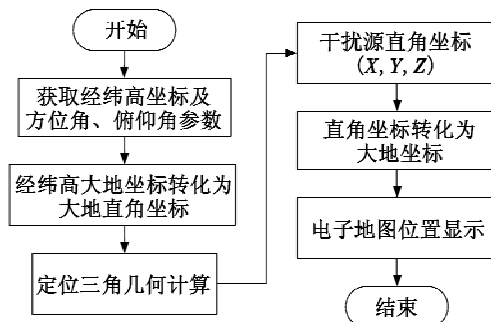


图 3 交叉定位算法解算流程图

Fig. 3 Solution flowchart of the cross-location algorithm

## 3 地面站二次开发

为完善现有的空中无线电监测定位系统,本文以 Mission-Planner 开源地面站为基础进行二次开发<sup>[2]</sup>,融合无人机操作与无线电监测两方面的功能,并对地面站的功能进行相应取舍,使之更加适用于民航无线电监测系统。

### 3.1 开发环境及整体结构设计

在对 Mission-Planner 开源地面站进行二次开发时,使用 C#语言编写,操作系统为 Windows10,使用 Visual Studio 2018 集成开发平台,.NET Framework 为 4.6.2 版本。考虑到软件的实际应用需求,将软件分为 4 个模块进行开发,分别为总体界面布局、数据通信模块、功能模块及电子地图模块。

### 3.2 总体界面布局

界面布局对用户使用至关重要,友好的人机界面将会方便用户操作<sup>[3]</sup>。此次开发过程中,将软件的主界面分为虚拟仪表区、电子地图区和功能卡片区 3 部分。

由于无人机的飞行数据众多,单纯用数字展示并不直观,地面操作人员难以迅速做出判断,虚拟仪表区

通过借助 ActiveX 虚拟仪表插件,在地面站模拟飞行器的驾驶舱操作界面,以便于操作。电子地图区的作用则是为整个监测过程提供直观的界面参考,包括显示无人机的飞行轨迹、干扰源位置等信息。

### 3.3 数据通信模块

本次开发主要使用的通信协议为 MAVLink 通信协议。微型飞行器链路(Micro Air Vehicle Link, MAVLink)协议是一种灵活、轻量级的开源通信协议,被 Ardupilot, PX4 等多个无人机系统作为无人机与地面站之间的通信协议,实现无人机和地面站之间的双向数据交换<sup>[4]</sup>。

MAVLink 协议的格式编写相当规范,数据的基本传输单位是消息帧,消息帧的数据长度在 8 ~ 263 B 之间<sup>[5]</sup>。MAVLink 提供了接口(Interface)类库,通过调用接口可以实现类似多继承的功能,就可以用在 MAV-LinkInterface 接口中定义的串口操作方法,实现地面终端系统的数据通信。

### 3.4 功能模块

功能模块是实现无人机空中无线电监测任务的重要组成部分,由基本数据、基本操作、干扰源定位、信号监测等几个小模块组成。基本数据模块以数值的形式显示无人机的飞行高度、地速、偏航、飞行时间等,并实时展示无人机飞行状态的变化<sup>[6]</sup>;基本操作模块则可以实现对无人机的简单操作,如姿态调整、位置移动等,通过预设一些飞行模式可以更好地完成飞行任务,主要包括稳定模式、盘旋模式、悬停模式、返航模式等;干扰源定位模块利用前面介绍的交叉定位算法,以天线旋转过程中无线电信号幅度最大时的经纬高、俯仰角、方位角信息为输入变量,通过后台算法自动完成坐标转换、定位三角解算等过程,最后在电子地图模块上直观显示干扰源的位置信息;信号监测模块负责在监测过程中实时显示接收到的无线电信号强度。

### 3.5 电子地图模块

本次开发主要是用 GMap. Net 控件来完成地面站的电子地图功能。GMap 是一个跨平台的开源 .NET 控件,其代码结构清晰,每个模块之间均基于接口进行编程,可运行于 WinForm, WPF 和 Windows Mobile 等开发环境,支持 Google, Bing, ArcGIS 等多种在线、离线地图,功能强大<sup>[7]</sup>。在开发过程中,首先要对 GMap 的 2 个核心文件即 GMap. Net. Core. DLL/GMap. Net. Windows-Forms. DLL 进行引用,然后利用对象对 MapControl 类的对象、属性和方法的继承,在项目中添加一个地图控件<sup>[8]</sup>。加载完地图控件后,首先要对其进行实例化,完成后才会显示地图,之后还可以对地图控件功能进行必要的完善,如添加放大缩小功能、设置电子地图的提供商以及设置地图中心点等。

开发完成的地面站主界面如图 4 所示。

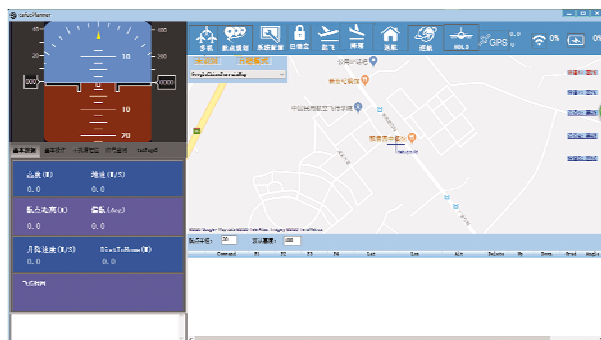


图4 地面站主界面

Fig. 4 The main interface of the ground station

## 4 空中无线电监测及交叉定位测试

为验证空中无线电监测定位系统的优越性及开发地面站的可行性,本文共进行了 2 个测试。测试 1 是将无人机升至不同的高度,对放置在 4 个不同测试地点的信号源进行测试,观察不同高度对接收信号强度的影响;测试 2 是选定合适的飞行高度,对放置的干扰源进行交叉定位测试,测试所开发的地面站用于干扰源定位的可行性。2 次测试均选取工作频率为 450 MHz、发射功率为 8 W 的对讲机模拟干扰源。

在测试 1 中,无人机的飞行高度分别设置为 0 m, 10 m, 15 m, 20 m, 25 m, 分别对放置在 4 个不同地点  $A_1, A_2, A_3, A_4$  的信号源进行测试,结果如图 5 所示。

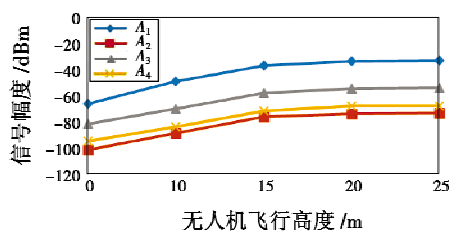


图5 无人机飞行高度对接收信号幅度的影响

Fig. 5 Effects of UAV flying height on received signal amplitude

由图 5 可知,在 0 ~ 15 m 范围内,随着空中无线电监测定位系统的高度上升,接收到的信号幅度增加比较明显,而超过 15 m 之后,接收到的信号幅度变化很小。这是因为在 0 ~ 15 m 范围内,受树木、建筑物等影响,无线电信号传播会受到折射、反射等现象影响,致使接收信号幅度很小,而随着高度逐渐增加,所受影响逐渐减小,接收信号幅度逐渐增大;当无人机飞行高度超过周围大部分障碍物的高度后,接收到的信号幅度就不会再有大的变化。该测试充分证明了空中无线电监测系统的优越性,较地面监测系统具有更高的监测效率<sup>[9]</sup>。

在测试 2 中,将干扰源放置在某点,设置无人机飞行高度为 20 m,进行以干扰源为圆心的近似圆周运动,

同时尽量使圆半径足够大<sup>[10]</sup>,然后选择圆周上相距较远的 2 点  $A_1, A_2$  作为监测点,通过控制无人机在这 2 个监测点的自旋及俯仰,实时观测信号幅度的变化,当信号幅度出现最大值时,记录此时的经纬度坐标及相应角度信息。其中: $A_1$  的经纬高坐标为(112.439 779°,34.637 253 08°,146.412 m),方位角为 101°,俯仰角为 11.828°; $A_2$  的经纬高坐标为(112.441 997°,34.635 921°,146.376 m),方位角为 12.8°,俯仰角为 13.848°。

利用地面站功能模块中的干扰源定位功能可得干扰源计算位置坐标为(112.442 353°,34.637 219°,157.43 m),干扰源实际位置坐标为(112.441 956°,34.637 564°,146.72 m),同时将干扰源的实际位置与计算位置显示在地图上,如图 6 所示,通过地图测距测得二者相距约 52 m,具有一定实用价值。



图 6 干扰源的实际位置与计算位置

Fig. 6 The actual position and calculated position of the interference source

## 5 结束语

本文初步搭建了一套空中无线电监测定位系统,通过对 Mission-Planner 开源地面站平台进行二次开发,使其不仅具有传统地面站的无人机操作监视等功能,还在此基础上融合了无线电信号测向定位功能。最后利用该系统进行了相关测试,既验证了基于无人

机的民航无线电监测系统监测民航无线电干扰的优越性,又验证了该地面站系统的可行性,基本达成了由一名地面站操作人员同时完成无人机操作与民航无线电干扰源监测定位的预期目标。本文搭建的系统可以降低运行成本,提高排查民航无线电干扰的效率,具有一定的实际指导意义。

## 参考文献

- [1] 张美红. 基于无人机的民航无线电干扰空中监测与分析研究[D]. 广汉:中国民用航空飞行学院,2019.
- [2] THOMPSON F, GALEAZZI R, GUIHEN D. Field trials of an energyaware mission planner implemented on an autonomous surface vehicle[J]. Journal of Field Robotics, 2020, 37(6):1040-1062.
- [3] 韩英慧. 基于局域网的通信系统的开发与设计[J]. 黑龙江教育学院学报,2013, 32(7):190-191.
- [4] 张凌浩,王胜,周辉,等. 基于 MAVLink 协议的无人机系统安全通信方案[J]. 计算机应用,2020, 40(8):2286-2292.
- [5] 王楠. 支持 MAVLink 通信协议的微型无人机数传电路设计[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2017.
- [6] 张梦花. 基于无人机低空摄影测量成图实例研究[D]. 西安:西安科技大学,2017.
- [7] BASTARI A, SUPARMANTO D, SUNARTA S, et al. Design of autopilot tank prototype monitoring system on ground station using google maps[J]. Journal Astro-Sttal-International, 2020, 11(3):31-46.
- [8] 邱日鹏. 基于四旋翼飞行器的大气环境监测系统研究与设计[D]. 南昌:南昌航空大学,2018.
- [9] 李凯,夏爽,崔铠韬,等. 多旋翼空中无线电监测系统[J]. 中国无线电,2015(6):42-43, 48.
- [10] 范祥玲. 运动单站测向定位技术研究[D]. 武汉:华中科技大学,2019.

(上接第 106 页)

- [2] ARINC Industry. Advanced flight management computer system ARINC 702A-5[S]. Bowie:SAE ITC, 2018.
- [3] 钱向农,杨丰辉,阎良民. 飞行管理系统机载性能数据库应用技术研究[J]. 航空工程进展,2014,5(1):116-123.
- [4] SPITZER C R, FERRELL U, FERRELL T. Digital avionics handbook[M]//3rd ed. WALTER R. Flight manage-

ment system. Boca Raton:CRC Press LLC, 2017.

- [5] 杨丰辉,钱向农. 飞行管理系统性能计算策略分析[J]. 航空计算技术,2013, 43(4):105-108.
- [6] 黄太平. 飞机性能工程[M]. 北京:科学出版社,2005.
- [7] 程农,拓朴筠,李清,等. 新航行体系下大型客机飞行管理系统关键技术研究及仿真验证[J]. 中国科学,2018, 48(3):264-276.