

基于 Android 的无人机自主飞行系统设计与实现^{*}

林锐杰¹ 廖可非^{1,2}

(1. 桂林电子科技大学信息与通信学院 桂林 541004;

2. 卫星导航定位与位置服务国家地方联合工程研究中心(桂林电子科技大学) 桂林 541004)

摘 要:对于需要无人机精确飞行并对目标进行实时监测的场景,自主飞行系统能轻易实现对目标的追踪监测。当人们获取目标位置信息为具体经纬度坐标,手动操作飞机无法精确飞到地点,对使用无人机进行定点飞行拍照取证造成了巨大困难。针对此问题,基于 Android studio 作为开发平台,利用 DJI Mobile SDK 和 DJI UX SDK 开发组件,开发了一款无人机自主飞行手机应用,该应用主要有 5 大程序模块组成,可实现经纬度精确飞行、兴趣点环绕、一键起飞、自动返航、图片视频上传与下载以及无人机画面实时转播等功能,并能设置飞行高度、飞行速度、飞行路径方式、云台朝向、到达航点停留时间等一系列参数。经多次实地测试结果表明,无人机能根据经纬度自主飞向目标点,最终悬停于目标正上方,误差在 10 m 以内,大大提升了无人机精确飞行和追踪监测的能力。

关键词: Android; SDK; 经纬度; 自主飞行

中图分类号: TP273⁺.3 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520.40

Design and implementation of autonomous flight system of UAV based on Android

Lin Ruijie¹ Liao Kefei^{1,2}

(1. School of Information and Communication, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China;

2. State and Local Joint Engineering Research Center for Satellite Navigation and Location Service(Guilin University of Electronic Technology), Guilin 541004, China)

Abstract: The autonomous flight system can easily track and monitor the target in the scene where the UAV needs to fly accurately and monitor the target in real time. When people obtain the target location information as the specific longitude and latitude coordinates, the manually operated aircraft cannot fly to the location accurately, which creates great difficulties for the use of UAVs to take fixed point flight photos. To solve this problem, this paper develops a UAV autonomous flight mobile phone application based on Android studio as the development platform, using the DJI Mobile SDK and DJI UX SDK development components. The application mainly consists of five program modules, which can realize precise longitude and latitude flight, interest point circling, one button takeoff, automatic return, image and video upload and download, and real-time UAV screen broadcast, and can set flight altitude a series of parameters such as flight speed, flight path mode, PTZ orientation, and dwell time at the waypoint. The results of many field tests show that the UAV can fly to the target point independently according to longitude and latitude, and finally hover over the target with an error of less than 10 meters, greatly improving the UAV's ability to fly accurately and track and monitor.

Keywords: Android; SDK; longitude and latitude; autonomous flight

收稿日期: 2022-11-15

^{*} 基金项目: 广西创新驱动发展专项(桂科 AA21077008)、广西自然科学基金(2021GXNSFAA220051)、桂林电子科技大学研究生教育创新计划(2022YCXS054)、桂林电子科技大学研究生教育创新计划(2022YCXS053)项目资助

0 引言

如今人们能够轻松获取到与目标相关的精确经纬度信息,将其与无人机进行配合可实现对目标的全面追踪监测。无人机价值在于形成空中平台,结合其他部件扩展应用,替代人类完成空中作业^[1]。无人机在民用生活中,可以进行空中运输、空中测绘和空中摄像等方面的工作;在军事对抗中,可以完成地形侦查、遥控作战和远程监听等任务;在紧急情况下,可以作为情报传递和灾害援救的有效手段^[2]。现在的无人机的飞行控制、图像拍摄等,主要还是需要依靠人工操作,无法完全脱离人为控制^[3]。当人们获取目标位置信息为具体经纬度坐标时,手动操作飞机无法精确飞到目标点,这时就需要依靠无人机自主控制去完成飞行。无人机自主控制是指无人机能够通过自检、状态获取、姿态解算和电机控制来执行地面站发送的一系列指令,从而完成既定的飞行任务^[7,4]。

国外对无人机的自主飞行化的研究一直处于全球的顶尖水平,文献[5]提出了一种无人机的多级体系结构,该结构在机载计算机上使用与无人机飞行控制器相同的标准通信协议,能轻松访问无人机的各项数据和发送任务指令,使无人机完成自主飞行操作,但其实现对无人机承载能力有一定的需求。文献[6]通过一种性能评估方法检查和预设无人机自主飞行任务中的路线方向和行动,评估和跟踪了无人机自主飞行任务的执行情况,但该方法适用于室内情况去使用。

无人机的自主飞行化必将是大势所趋,也是现代无人机技术发展进步的体现。国内对无人机自主飞行化研究也取得了显著的成绩,文献[7]对无人机的自主控制技术进行了深入研究,证明了通过软件系统去控制无人机自主飞行的可行性。随着无人机在各行各业中的广泛应用,对无人机的实时监控与控制显得越来越重要。文献[8]设计了无人机监控系统,实现了实时对无人机参数的查看和设置以及信息交互,但没有添加图传功能,无人机相机画面的实时图像没有传输到监控系统上。文献[9]设计了一款海事巡检 Android 手机应用,该应用实现了无人机实时航迹和视频显示,能及时把握无人机的巡检情况,但其视频显示仅仅呈现在手机应用上,没有做进一步转发。在国内乃至国际上,大疆无人机拥有最顶尖的无人机技术以及稳定高效的自主研发平台,其出色的飞行性能和优秀的开发潜力深受国内外开发者的热爱,大疆官网也有许多开发样例供开发者学习。文献[10]通过大疆提供的 Mobile SDK 移动应用软件开发套件,设计了一款可以控制无人机自主飞行的 Android 手机应用,实现了在地图上定位无人机并标记点,无人机即可自动飞往目标点的功能。但该自主飞行应用在目标位置精度、对目标的追踪监测以及无人机到达目标点之后的一系列后续操作上还有一定的提升空间。

为了提高无人机对目标点实时监测的能力,本文设计

了一款能够根据经纬度坐标精确飞往目标点,并且在到达目标点后可进行兴趣点环绕功能,在飞行过程中实时回传无人机相机画面且能够拍摄并下载图片的安卓手机应用,具有良好的应用前景及潜在价值。

1 设计平台选择

综合考虑开发难度、无人机性能以及后期维护拓展等因素,最终决定使用大疆御 Mavic 2 专业版无人机和利用 DJI Mobile SDK 和 DJI UX SDK 于 Android studio 开发平台上开发无人机自主飞行软件。

UX SDK 是以 Mobile SDK 为基础完整的大疆无人机应用程序组件库^[11]。通过 UX SDK,我们可以快速搭建一个类似 DJI GO 4 的大疆官方应用程序的用户界面,能够实时监测无人机众多参数并且基础功能完善且稳定,降低了用户软件开发的学习成本,为后续功能的开发奠定了良好的基础。Mobile SDK 是面向众多开发者的移动开发平台,利用大疆提供的无人机软件开发套件,能够简化无人机软件开发中的一些复杂过程,使得开发者能够专注于思考软件需求功能的逻辑与实现,更快制作出符合需求的无人机自主飞行软件^[12-13]。

2 系统结构设计

如图 1 所示,本文所设计的自主飞行系统主要由无人机、无人机地面站以及电脑端组成,其中无人机地面站主要由 Android 手机与无人机遥控组成,二者通过 USB 接口有线连接,电脑端与 Android 手机,无人机与无人机遥控器均为无线传输,电脑端与手机端均处于同一个局域网内^[14-15]。

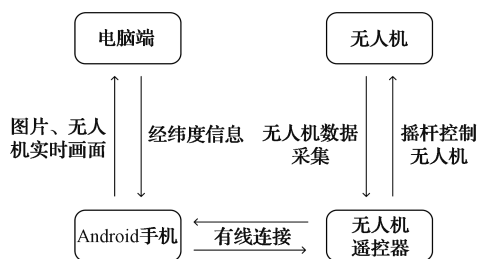


图 1 自主飞行系统框架图

无人机与地面控制系统是通过通信链路系统进行信号传输,通信链路系统由控制链路、数传链路和图传链路等组成^[16-17]。对于轻型民用无人机而言,遥控系统通常由遥控器和在机体上的接收器组成,是执行任务、保证飞行安全中最为重要的一部分。遥控器和无人机接收器之间采用控制链路传输指令^[18-19]。

无人机在飞行的过程中,通过在 Android 手机 App 端输入不同的操作指令,从而去启动遥控器的控制链路中的不同控制通道,达到控制无人机的效果^[20-21]。数传链路能够实时获取无人机的飞行状态,如飞行速度及高度等信息,并且能下载照片、视频到手机端,上传飞行任务等。图

传链路一般可以分为模拟信号图传和数字信号图传,大疆无人机拥有顶尖的图传系统,其图传系统一路从 WiFi 图传发展到 Lightbridge 图传,再对 Lightbridge 图传进行升级改进成如今的 OcuSyne 图传系统。

在电脑端通过对 rtmp 服务器的搭建和启动,以及在手机端打开 rtmp 直播流推流开关的方式,将无人机相机画面实时传输到电脑端^[22-23]。电脑端和手机端通过 TCP/IP 协议实现经纬度信息以及图片信息交互。

3 自主飞行软件设计与实现

3.1 软件总体设计

开发自主飞行软件,首先需要在 Android Studio 开发平台上新建一个软件数据包 com.dji.mbsdkdemo^[24-25],如图 2 所示,该软件数据包包含 5 大主要程序模块,其中 AndroidManifest.xml 模块,主要提供应用申请权限、各种密钥导入和活动的展示等;MainActivity.java 模块,为主程序,负责自主飞行应用的运行逻辑编写、数据调用、地图加载定位、自主飞行任务设定等核心工作;activity.xml 模块,为布局文件,负责编写展示应用的主操作和二级操作界面;build.gradle 模块,为构建工具,可配置项目 SDK 版本,文件路径配置,构建工具版本,添加依赖等;DemoApplication.java 模块,为应用类,软件启动时设置环境,运行过程中保存静态变量和全局对象。

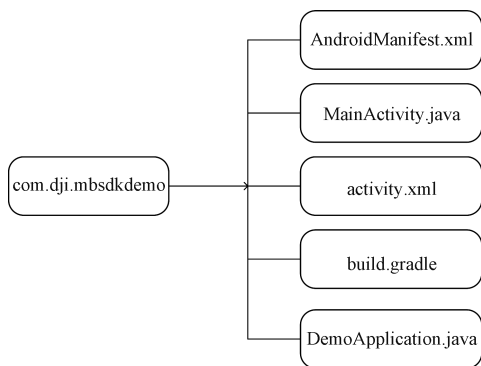


图 2 主要程序模块

3.2 主界面设计

通过 DJI UX SDK 可以迅速搭建一个美观易用且组件功能稳定的无人机显控界面骨架,统一的界面设置能使用户快速上手,降低了软件学习的成本。UX SDK 是依赖于 Mobile SDK 的,必须基于 Mobile SDK 上进行开发,实现步骤如下。

1) 在 AndroidManifest.xml 文件中添加横屏显示以及在 build.grade 模块中添加 implementation('com.dji:dji-uxsdk:4.15') 的 UX SDK 依赖,保存并通过 Sync Now 更新依赖到 Project 中。

2) 在布局文件 activity.xml 中依次添加所需的组件。

如图 3 所示,UX SDK 提供了一系列能显示动态数据

的线程组件,这些组件只要添加到显控界面中就可以使用,不需要再进行额外的处理。例如添加 dji.ux.widget.FPVWidget 和 dji.ux.widget.FPVOverlayWidget 即可显示无人机相机画面的第 1 人称视图(FPV);添加 dji.ux.panel.PreFlightCheckListPanel 即可使无人机在飞行前自动检查列表面板;添加 LinearLayout 即可创建自定义功能栏、无人机状态栏、相机拍摄功能区、起飞/降落/返航按钮以及无人机飞行数据栏等组件。



图 3 主界面

3.3 自定义功能实现方法

在自定义功能栏中,创建了 M1、M2、DLD、SET 4 个按钮以及一个 rtmp 开关,分别对应了经纬度精确飞行、兴趣点环绕、下载图片或视频到本地、设置无人机飞行参数以及 rtmp 直播流等功能。4 个按钮分别在 MainActivity.java 文件中的 initUI() 函数中使用 startActivity() 弹出对应 Activity 的代码,并且于对应的布局文件中通过 LinearLayout 构建了 UI 界面。

1) “M1”按钮,在图 4 所示的 UI 界面中,输入经度、纬度以及飞行高度等参数后,无人机即可一键起飞到指定高度后自动飞往目标点,实现根据经纬度信息精确飞行功能。

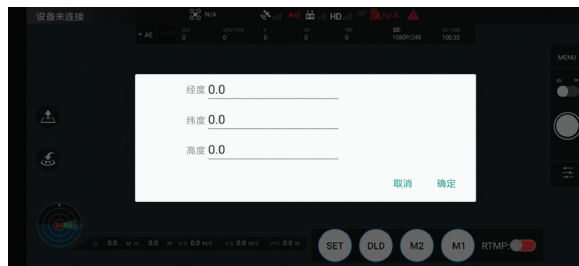


图 4 经纬度精确飞行界面

经纬度精确飞行功能是通过一系列有关航点任务 WaypointMission 的函数实现的,其具体流程如图 5 所示。

在 MainActivity.java 文件中执行以下主要步骤。

(1) 获取与检查输入信息。通过 setText() 和 getText() 获取输入的经纬度以及飞行高度信息,并通过 trycatch 逻辑检查输入信息是否有误。

(2) 获取航点飞行任务控制器。在进行经纬度精确飞行任务前,需要通过调用 getWaypointMissionOperator()

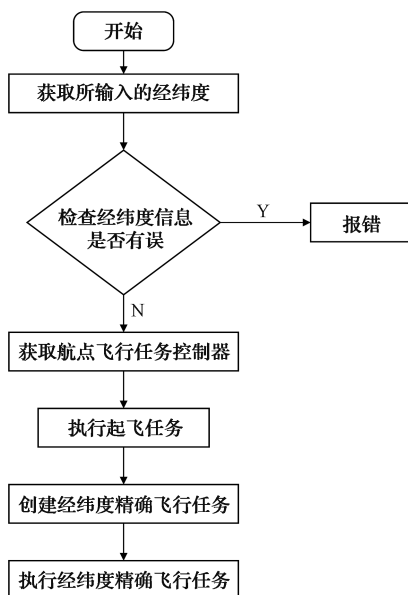


图5 经纬度精确飞行流程

去向任务控制器 MissionControl 获取控制权。

(3) 执行起飞任务。通过调用 startTakeoff() 控制无人机起飞, 默认起飞高度为 1.2 m。

(4) 创建飞行任务。通过 createWaypointMission() 创建航点飞行任务, 并调用 loadMission() 加载任务信息及 WaypointMissionState() 函数检查任务信息状态是否符合执行经纬度精确飞行任务条件。

(5) 执行飞行任务。调用 startMission() 开始执行经纬度精确飞行任务并通过 showToast() 打印“start mission success”信息。

2) “M2”按钮。在如图 6 所示的 UI 界面中, 输入目标点经纬度坐标后, 无人机即可以无人机当前位置到目标点为半径, 目标点为中心做环绕飞行(半径需大于 5 m 且小于 500 m, 飞行高度需大于 5 m), 实现兴趣点环绕功能。

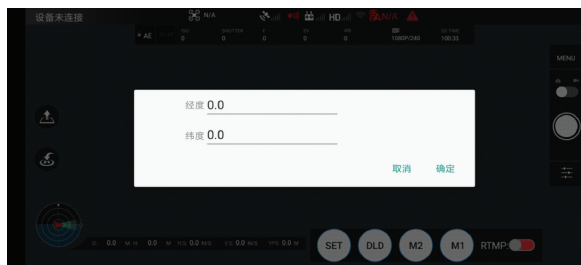


图6 兴趣点环绕界面

兴趣点环绕功能是通过一系列有关热点任务 HotpointMission 的函数实现的, 其具体流程如图 7 所示。

在 MainActivity.java 文件中执行如下主要步骤。

(1) 获取与检查输入信息。通过 setText() 和 getText() 获取输入的经纬度信息, 并通过 trycatch 逻辑检查输入信息是否有误。

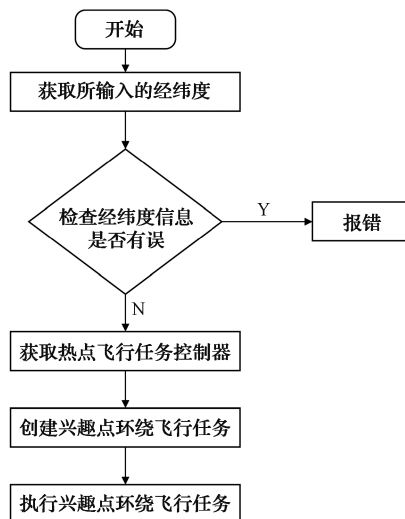


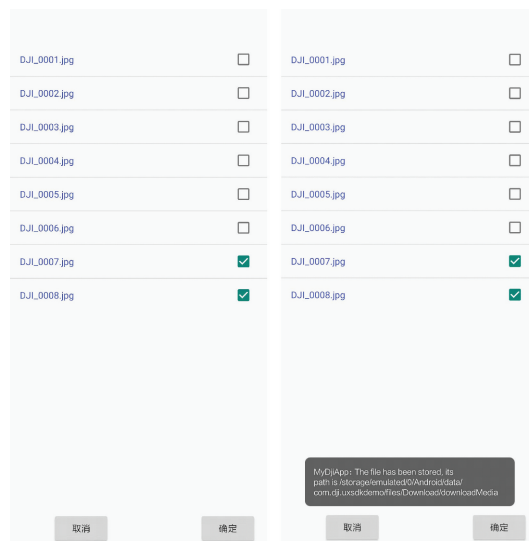
图7 兴趣点环绕飞行流程

(2) 获取飞行任务控制器。在进行兴趣点飞行任务前, 需要通过调用 getIntelligentHotpointMissionOperator() 去向任务控制器 Mission Control 获取控制权。

(3) 创建飞行任务。通过 intelligentHotpointMission() 去创建 hotspot 任务, 并调用 setHotpoint() 及 checkParameters() 函数将经纬度信息传入和检查目标点是否符合执行兴趣点环绕任务条件。

(4) 执行兴趣点环绕飞行任务。调用 startMission() 开始执行飞行任务并通过 showToast() 打印“hotpoint mission success”信息。

3) “DLD”按钮。图片视频下载按钮, 在图 8(a) 所示的 UI 界面中选中所需要的图片或视频, 通过确定能下载图片或视频到指定手机本地文件夹 com.dji.uxsdkdemo/files/Download/downloadMedia 中, 如图 8(b) 所示, 图片



(a) 选中图片视频

(b) 下载图片视频

图8 “DLD”图片视频下载界面

和视频的保存格式分别为 jpg 和 mp4。

新建类 PicDownloadActivity 继承于 AppCompatActivity 类,并通过对应的 activity_pic_download.xml 文件创建页面布局,其具体功能实现流程如图 9 所示。

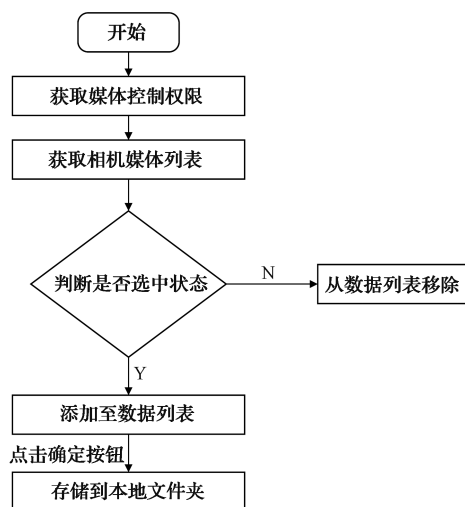


图 9 下载图片到本地流程

主要实现步骤如下。

(1) 调用 `getCamera()` 去获取媒体控制权限并将相机模式设置为下载模式。

(2) 通过 `fetchMediaList()` 函数去获取相机媒体列表。

(3) 调用 `updateCheckBoxStatus()` 去判断 `checkBox` 的选中状态,选中时,把这一项的数据加到选中数据列表中,未选中时,把这一项的数据从选中数据列表中移除。

(4) 在 `MainActivity.java` 中通过 `saveBitmap()` 函数创建默认的 `sdCardDir` 存储文件夹,保存图片和视频在此目录下。

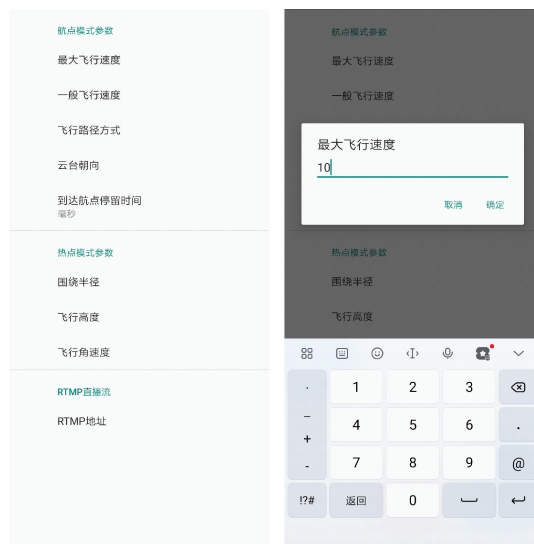
4) “SET”按钮,基础参数设置按钮,为各个功能设置默认参数,参数会自动保存,不需要重复设置。在图 10 所示 UI 界面中,能设置经纬度精确飞行功能的最大飞行速度、一般飞行速度、飞行路径方式、云台朝向以及到达目标点停留时间等参数;能设置兴趣点环绕功能的围绕半径、飞行高度以及飞行角速度等参数;能设置 RTMP 直播流的推流地址。

参数设置功能通过键值管理器(keymanager)实现,键值管理器具有高效且多监听器等优势,提高了数据传输效率以及稳定性,其具体实现流程如下。

(1) 获取并创建键值管理器对象。在 API 文档中找到所要设置参数的相应键名(DJKey)后,通过 `keyManager=KeyManager.getInstance()` 和 `DJKey=FlightControllerKey.create()` 来分别获取和创建对象。

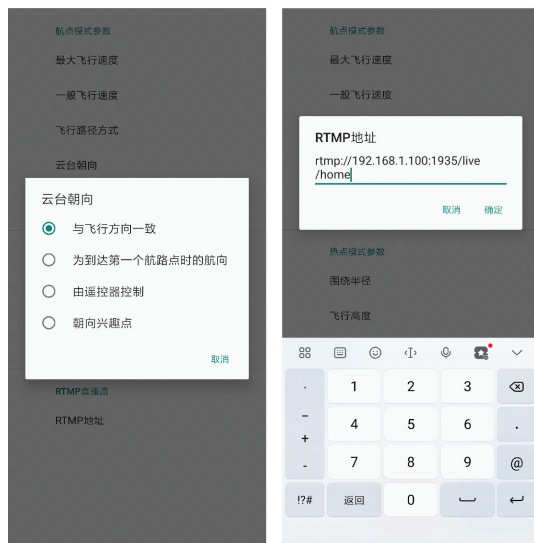
(2) 通过键值管理器的 `Set`、`Action`、`Listener` 等方法设置参数、执行指令以及监听状态信息。

5) “RTMP”开关,RTMP 直播流开关,在设置 RTMP 推流地址之后,滑动开关打开 RTMP 直播流,能成功将无



(a) “SET”主界面

(b) 设置最大飞行速度界面



(c) 设置云台朝向

(d) 设置RTMP地址界面

图 10 “SET”按钮界面

人机相机的实时画面转播到电脑端,具体操作过程如下。

(1) 确保电脑与手机处于同一个局域网下,于电脑端搭建 RTMP 服务器,并于 `cmd` 命令行中进入到 RTMP 服务器路径下,输入 `nginx.exe -c conf\nginx-win-rtmp.conf` 命令启动服务器,并获取该局域网下的电脑 IP 地址。

(2) 通过“SET”按钮设置 RTMP 地址,将同个局域网下的电脑 IP 地址输入,回到主界面打开 RTMP 推流开关,显示“livestream start success”即推流成功。

(3) 于电脑端任一支持直播流功能的播放器中输入相同的 RTMP 地址即可成功将无人机相机画面实时传输到电脑端(图 11)。

在 `MainActivity.java` 文件中通过 `isLiveStreamManagerOn()` 来控制直播流的打开和关闭,当其值为 1 时,打开直播流,并通过 `showToast()` 打印“livestream

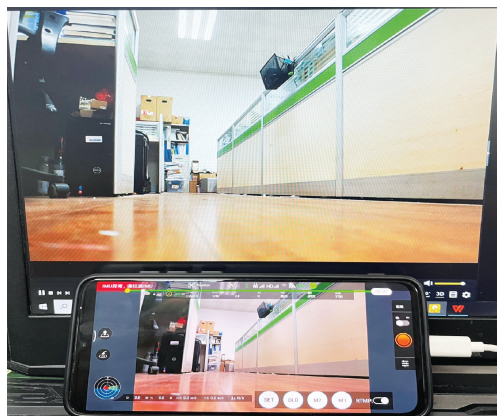


图 11 RTMP 直播流效果

start success”信息;当其值为 0 时,关闭直播流,并通过 showToast()打印“Stop Live Show”信息。

4 系统测试

本文通过 Android studio 平台导出 apk 文件,传输安装于 Android 9.0 系统的小米 9 手机上,手机与无人机遥控器通过 USB 口有线连接,无人机机型为大疆御 Mavic 2 专业版。由于软件功能测试的结果受风力等天气因素影响较大^[26-27],为了保证测试的顺利进行以及测试结果的可靠性,系统在桂林某水库进行了多次多组的实地测试。

将手机与电脑置于同一局域网下,于电脑端通过 cmd 启动 rtmp 服务器并获取电脑端 IP 地址,软件连接上无人机后,通过“SET”按钮进入参数设置界面,进行 rtmp 推流地址设置,输入电脑端 IP 地址。设置好后返回主界面,打开 rtmp 开关,显示“livestream start success”,则推流成功,若显示“254”,则推流失败。在电脑端通过支持直播流的播放器输入所设置的 rtmp 推流地址,即可获取无人机摄像头实时的飞行画面(图 12)。



图 12 无人机追踪目标船只

通过相控阵雷达扫描获取到目标船只的经纬度坐标^[28],飞行前通过“SET”按钮进入参数设置界面,设置无

人机飞行速度、云台朝向以及到达航点停留时间等参数。通过“M1”按钮进入经纬度精确飞行任务界面,将雷达获取的经纬度坐标输入以及设置飞行高度,确定后无人机自动执行飞行任务。无人机起飞到所设置的高度后,自动飞向所输入的经纬度坐标点。

无人机执行经纬度精确飞行任务过程中,通过相机进行拍照,并通过“DLD”按钮进行图片的下载,图片会自动保存到手机的默认路径的文件夹中。

无人机到达目标点附近后,可通过“M2”按钮输入经纬度坐标进行兴趣点环绕任务,在飞行前通过“SET”按钮设置环绕半径、飞行高度以及飞行角速度等参数,无人机可以围绕目标环绕一周,对目标进行更细致的观测。

通过多次实地测试,自主飞行软件在输入目标经纬度信息后,能精确飞往目标点,最终悬停在目标的正上方。无人机最终悬停地点与目标误差与所输入的经纬度坐标精度有关,精确到小数点后六位,误差在 10 m 以内,最远飞行距离可达 5 km,飞行过程中无人机云台始终朝向目标点,能达到很好的监测效果。无人机拍摄效果如图 13 所示。



图 13 无人机拍摄目标

5 结论

本文以在获取目标具体经纬度信息的情况下,需要进行精确定点飞行的实际需求为切入点,将大疆消费级无人机御 Mavic 2 专业版作为载体,使用 Mobile SDK 和 UX SDK 软件开发套件,于 Android studio 开发平台,设计并实现了无人机自主飞行软件,实现了通过简单 UI 界面输入操作,即使无人机自动执行经纬度精确飞行、兴趣点环绕、起飞返航以及图片视频上传和下载等功能,在飞行过程中无人机相机画面通过 RTMP 推流实时显示在电脑端,以达到实时监控的效果。相比于大疆官方软件的航点飞行,自主飞行软件的经纬度精确飞行功能通过经纬度信息去定位目标位置,实现单航点飞行,并在飞行过程中无

人机相机画面实时显示在手机以及电脑端,能更好地了解无人机当前的飞行位置以及对目标点的观测。

参考文献

- [1] 林清,田峰,蔡志浩,等.无人机地面站技术发展现状[C].中国制导,导航与控制学术会议,2014:1288-1293.
- [2] 阳尧.飞控系统在无人机中的应用与发展[J].山东工业技术,2022(1):112-116.
- [3] 张浩.基于Android的无人机自动飞行远程控制系统的设计与实现[D].济南:山东大学,2019.
- [4] 罗旻,周萌.无人机全自动展放引线系统的开发与应用[J].实验室研究与探索,2019,38(8):52-56.
- [5] BIGAZZI L, BASSO M, BONI E, et al. A multilevel architecture for autonomous UAVs [J]. Drones, 2021, 5(3):55.
- [6] MOSTAFA S A, MUSTAPHA A, RAMLI A A, et al. Applying trajectory tracking and positioning techniques for real-time autonomous flight performance assessment of UAV systems[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2019, 54(3):1-11.
- [7] 闫志安.无人机自主控制技术研究[J].科学技术创新,2018(30):46-47.
- [8] 马茜.基于Android的无人机监控系统开发与实现[D].南京:南京信息工程大学,2019.
- [9] 曲欣宇,赵德群,武历祺,等.基于Android的无人机海事巡检系统的设计与实现[J].国外电子测量技术,2020,39(3):152-157.
- [10] 刘波.基于Mobile SDK的无人机自主飞行控制技术研究[D].西安:西安石油大学,2017.
- [11] 夏盛新.基于Android的移动开放平台SDK的设计与实现[D].西安:西安电子科技大学,2014.
- [12] 刘扬.基于Mobile SDK的四旋翼无人机远程飞行控制技术研究[D].北京:北方工业大学,2022.
- [13] 顾曦文,吴琦,崔峰瑞.基于DJI Mobile SDK的无人机航迹规划与欺骗方案设计[J].舰船电子工程,2020,40(10):42-47.
- [14] 罗霄,薛亚洲,张乐.一种无人机飞控计算机硬件平台的设计实现[J].电子测量技术,2021,44(1):50-54.
- [15] 索晓杰,张选洲,师嘉辰,等.无人机飞控系统中飞控计算机设计[J].信息技术与信息化,2021(10):22-24.
- [16] 雷小佩.基于Android无人机地面站软件的设计与实现[D].西安:西安科技大学,2015.
- [17] 汤泽军.一种基于Android的无人机远程定位系统的设计[J].科技资讯,2017,15(8):3-6.
- [18] 杨艳华,吕童,柴利.基于ESKF-MPC的四旋翼无人机轨迹跟踪控制[J].电子测量与仪器学报,2022,36(7):24-32.
- [19] 武海英,王明宇,李惠敏.基于Android系统的无人机自主飞行控制技术研究[实现[J].测绘与空间地理信息,2020,43(S1):226-228.
- [20] 陈佳慧.移动端无人机配送任务调度与APP设计[J].科学技术创新,2020(17):67-68.
- [21] 张莉,黄晓辉.结合Mobile-SDK的无人机移动终端应用设计[J].现代电子技术,2021,44(14):51-54.
- [22] 吴杨.基于RTMP协议的实时视频监控系统的设计与实现[D].杭州:浙江工业大学,2017.
- [23] 徐珂.基于RTMP的流媒体直播系统的设计与实现[D].大连:大连理工大学,2017.
- [24] 吕宋.基于Android平台的多旋翼无人机地面监控系统设计[D].南京:南京信息工程大学,2016.
- [25] 施洪平.基于Android的微型四旋翼无人机地面控制系统设计[D].南京:南京航空航天大学,2016.
- [26] 张宏宏,甘旭升,李双峰,等.复杂低空环境下考虑区域风险评估的无人机航路规划[J].仪器仪表学报,2021,42(1):257-266.
- [27] 焦环宇,王春阳,赵锦楠.四旋翼无人机串级自抗扰控制及参数优化方法[J].国外电子测量技术,2021,40(11):35-40.
- [28] 谢涛,邓洪高,廖可非.基于熵权灰色关联法的雷达认知成像目标优先级评价方法[J].桂林电子科技大学学报,2021,41(3):178-185.

作者简介

林锐杰,硕士研究生,主要研究方向为智能信号处理。
E-mail:351927045@qq.com
廖可非(通信作者),博士,副教授,主要研究方向为雷达成像及RCS测量等。
E-mail:kefeiliao@guet.edu.cn