

无人机多任务移动巡检作业平台设计

徐金琨¹, 刘天立¹, 孙磊¹, 翟浚希², 颜嘉栋¹, 赵烨梓¹

(1. 国网智能科技股份有限公司, 山东 济南 250000; 2. 山东科技大学, 山东 青岛 266590)

摘要:针对目前无人机现场作业巡检时间与效率问题, 研制了 1 种无人机多任务移动巡检作业平台, 平台机械方面与车辆本体采用一体化设计, 支持 1~3 架无人机协同巡检, 可实现异地起降功能。该文重点描述了平台在机械、电气和软件上的设计以及平台的整体工作流程, 进行了多次异地起降试验并统计出精准降落偏差值。平台可实现无人机一键起飞、自主作业和自动归巢等系列动作, 有效降低了现场工作人员的劳动强度, 同时让无人机作业半径大幅扩展, 极大提高了巡检效率, 对推动电力巡检作业一体化发展具有重要意义。

关键词:无人机; 移动巡检; 系统设计; 异地起降; 精准降落

中图分类号: TM762

文章编号: 1000-0682(2025)02-0042-06

文献标识码: B

DOI: 10.19950/j.cnki.CN61-1121/TH.2025.02.008

UAV multi-task mobile inspection operation platform design

XU Jinkun¹, LIU Tianli¹, SUN Lei¹, ZHAI Junxi², YAN Jiadong¹, ZHAO Yezi¹

(1. State Grid Intelligence Technology Co., Ltd., Shandong Jinan 250000, China;

2. Shandong University of Science and Technology, Shandong Qingdao 266590, China)

Abstract: In response to the current drone on-site operation inspection time and efficiency, it has developed a kind of drone multi-tasking mobile inspection operation platform. The platform machinery is integrated with the vehicle body. Inspection can achieve off-landing functions at different places. This article focuses on the design of the platform's overall workflow of the design of the platform on the design of machinery, electrical, software, and the platform of the platform. The platform can achieve a series of actions such as one-click take-off, independent operations and automatic home nests of drones, which effectively reduces the labor intensity of on-site staff. At the same time, the radius of drone operations has been greatly expanded, which greatly improves the inspection efficiency. The integrated development of power inspection operations is of great significance.

Keywords: UAV; mobile inspection; system design; landing in different locations; accurate landing

0 引言

目前, 无人机已成为电力巡检的可靠手段, 极大提高了设备巡检作业质量与效率。随着无人机与通信技术的迅猛发展, 无人机已由独立作业逐步向多种产品融合式应用演变^[1-2]。但无人机现场作业仍存在诸多问题: (1) 作业人员需在原地等待航线执行完毕后去往下一作业点, 巡检时间与效率得不到

保证; (2) 配电巡检受环境复杂或场景多变等因素限制, 自主巡检作业覆盖面积达不到预期效果; (3) 巡检结束后需现场人员单独上传至后台系统, 数据实时性及传输效率有待提升^[3-4]。

针对以上问题, 为进一步提升产品的机动性、灵活性和适应性, 降低人员现场作业劳动强度, 研发 1 种无人机多任务移动巡检作业平台具有重要意义。无人机多任务移动巡检作业平台可通过无人机与车辆配合, 更好地发挥产品机动性和灵活性, 满足输电和配电区域各类场景应用, 进一步推动电力巡检作业一体化发展。

收稿日期: 2024-07-09

第一作者: 徐金琨(1996—), 男, 山东潍坊人, 硕士研究生, 工程师, 研究方向为控制系统及测控研发。E-mail: 740014566@qq.com

1 系统设计

1.1 平台架构设计

无人机多任务移动巡检作业平台整体架构如图 1 所示,主要包含平台本体、无人机、车载控制器和管控后台。平台本体包含平台软件控制模块、电气

控制单元和机械执行单元,为无人机提供存储与能源供给服务,同时为无人机野外作业提供起降平台。无人机搭载实时动态测量技术 RTK 模块^[5-6]及双光载荷,自主执行精细化巡检作业任务,巡检数据可在车载控制器实时展示及回传。

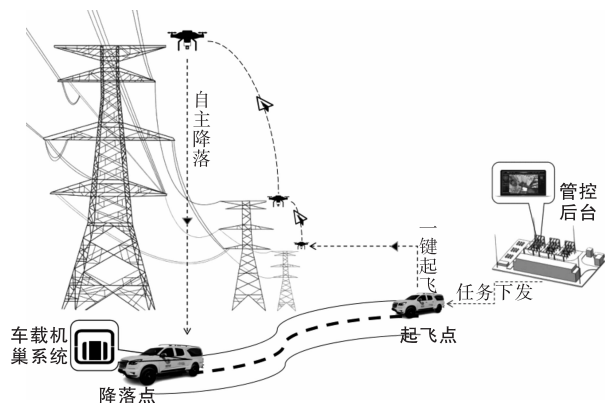


图 1 无人机多任务移动巡检作业平台整体示意图

1.2 平台机械设计

无人机多任务移动巡检作业平台机械方面与车辆本体采用一体化设计,与车辆无改装适配,实现快速兼容应用。自带供电系统,保持与车辆的独立。

机场整体设计成趋于长方形,尺寸以皮卡车后斗实际尺寸为基础,顶部设有斜坡,有效避免雨雪积累。舱门设计采用旋转平开门的形式,其具有 2 个主要优势:一是舱门打开后,平台左右方向与后侧方向无降落遮挡;二是无人机降落有偏差时,后侧可作为起降平台延伸面,便于保护无人机。外壳整体选用钣金或玻璃钢制作,内部设有镀锌板主体框架,用于无人机起降平台、旋转平台和无人机等受力支撑。前后两侧设有电气检修窗口,便于维保作业,侧面分别设有车充口与换电作业口,便于平台能源补给。图 2 所示为无人机多任务移动巡检作业平台机械结构图。

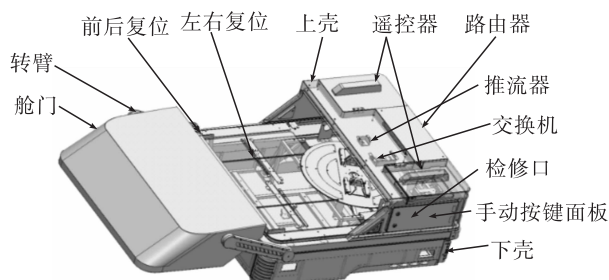


图 2 无人机多任务移动巡检作业平台机械结构图

图 3 所示为无人机多任务移动巡检作业平台多机转盘。承载无人机的多机转盘将圆分为 3 部分,

每 120°设置 1 个无人机位,因此该方案最多可同时容纳 3 架无人机。多机转盘采用整板的形式以确保转盘平行度,选用中空转盘电机作为主驱动,为避免转盘过大受力,在转盘的底部装有转盘导轨。导轨安装在固定框架上,通过固定框架和转盘导轨,吸收垂直方向的压力,此时转盘电机仅需要提供转动所需的扭矩。

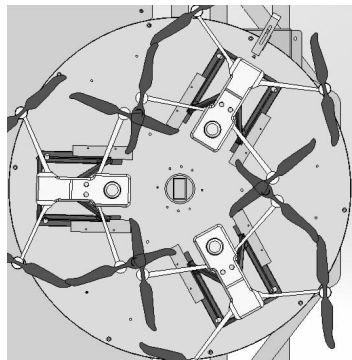


图 3 无人机多任务移动巡检作业平台多机转盘

取出时采用磁吸的方式,通过电磁铁接近后吸取脚架上的铁片,间接完成无人机抓取动作。电磁铁的设计位置为复位杆的中间位置(对应无人机位置),通过光电接近开关判定是否已成功抓取无人机。

1.3 平台电气设计

选用电压等级为 48 V/100 AH 的锂电池作为系统主要供电单元,锂电池通过直流开关电源转换后为系统提供 24 V/12 V/5 V 电压。平台硬件(电气)系统分为 3 个部分:第 1 部分是以平台控制器为

核心的平台本地控制,包含各类执行件的控制指令及信息反馈等基础控制;第2部分是以安卓工控机为核心的主控单元及辅控单元,其作用是完成平台控制器内各类信息反馈的接收、控制指令的下发以及无人机遥控器数据通信;第3部分是以手持端

(平板)为核心的控制端,其作用是完成管控系统数据对接、主控单元的控制指令推送以及无人机航线任务的分配。图4所示为无人机多任务移动巡检作业平台电气硬件架构组成。

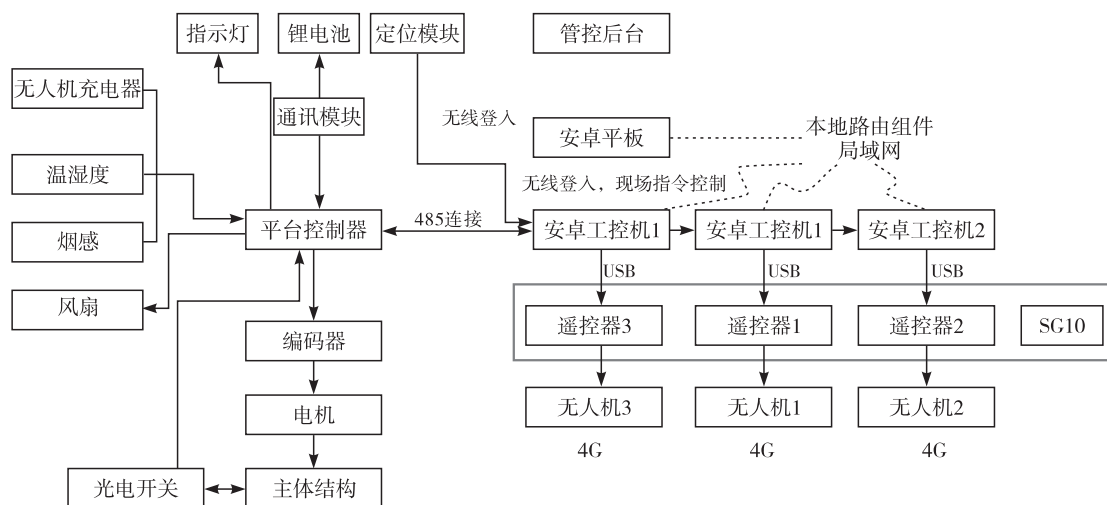


图4 无人机多任务移动巡检作业平台电气硬件架构组成

1.4 平台软件设计

无人机多任务移动巡检作业平台软件结构如图5所示,以路由器为节点,分别开发遥控器程序、机场控制程序、pad手持端程序及机场管控后台程序,4个程序相互独立,通过局域网实现信息交互。遥控器开发基于Android的无人机巡检控制程序,主要实现无人机自主巡检、状态监听、信息回传及精降等功能,pad手持端仅作为应用方的控制点,进行指令接收和下发,其优点是无人机自主飞行控制完全

由遥控器实现,无需等候平板判定,可有效确保无人机飞行应用的安全性。机场控制主板是各执行器件的功能实现端,具体包含无人机取出或归还、产品内温度控制、供电控制、无人机开关机控制以及遥控器开关机控制等功能,通过网口进行统一数据交互,将机场实时状态推送至手持端。

机场管控后台对移动机场台账、航线、任务及图片进行统一管理,实现作业,状态在线监控。

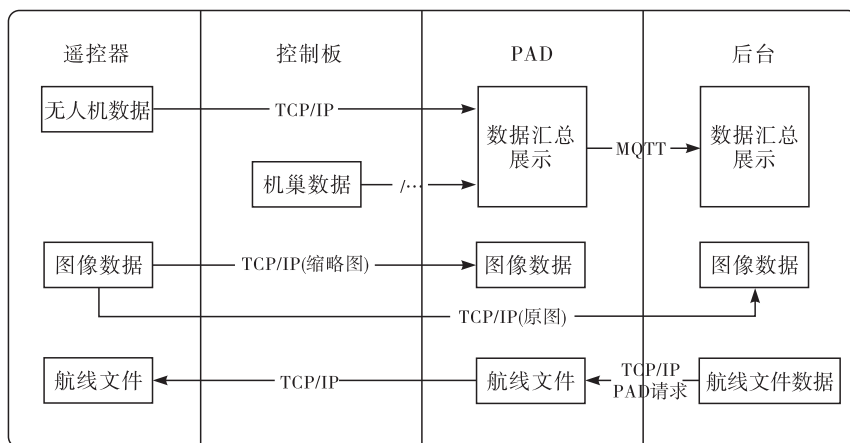


图3 软件总体通信结构设计示意图

2 作业流程

2.1 整体作业流程

图6所示为无人机多任务移动巡检作业平台作

业流程。开机后启动产品流程,通过人机交互界面选取任务,对任务进行设置,完成设置后将任务下发给平台本体,然后执行起飞相关的开舱放飞,无人机自主执行任务,完成任务后开舱,无人机执行精降,

通过平台执行机构对无人机进行精准复位并完成飞机锁紧。系统流程中执行动作通过光电开关反馈机械件执行状况,确保系统各流程操作的稳定性与安全性。系统流程是产品是主要作业流程,除系统流

程外,产品还包含了平台(机巢)启动流程、起飞流程、任务进行流程、降落流程、关机流程、飞机回收流程、换电流程及转盘旋转流程。各流程相互配合,实现平台的自主起降作业。

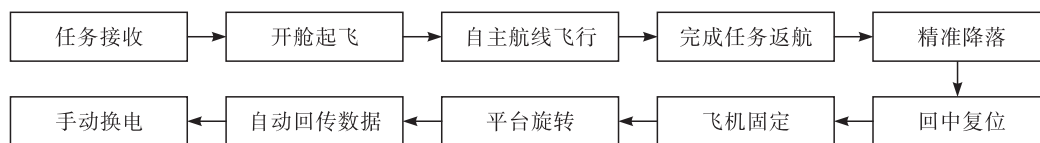


图6 无人机多任务移动巡检作业平台作业流程图

2.2 平台内部电机作业流程

无人机多任务移动巡检作业平台内部共有 6 个电机,协同控制舱门开启和关闭以及无人机的取出

和归还操作,以方便无人机进行起飞、降落和充电。其中电机的协同控制流程可分为两部分,一是起飞过程,二为回收过程,其整体控制过程如图 7 所示。

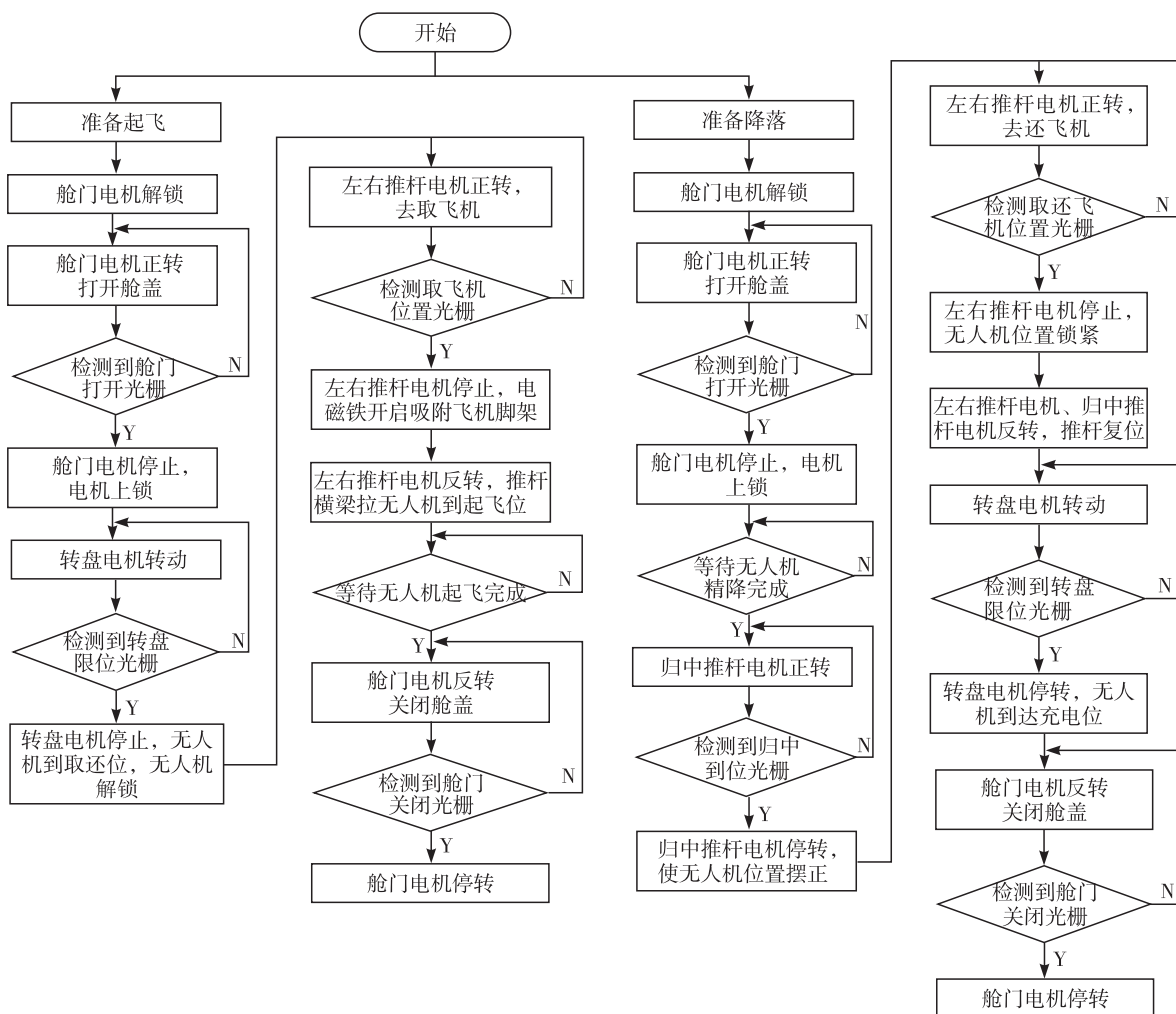


图7 无人机多任务移动巡检作业平台电机动作流程图

在无人机机巢控制的起飞过程中,首先,机巢系统会进行一系列的安全检查和初始化操作,确保无人机和机巢的各项功能正常。接着,机巢的舱门电机抱闸锁解锁,舱门打开,为无人机的起飞做好准

备。随后,转盘电机转动将无人机转到取还位置,固定无人机脚架的小电机解锁,机巢的左右推杆电机开始正转,使取还飞机的横梁与无人机脚架上的铁片接触,电磁铁通电使无人机脚架与横梁吸附,左右

推杆电机反转使横梁拉着无人机到起降平台的起飞位置,确保无人机能够平稳地离开机巢。一旦无人机完全离开机巢并达到预定的高度和速度,起飞过程就完成了。此时,无人机将按照预定的航线飞行,而机巢的舱门则会关闭并重新上锁,以确保机巢内的安全。

在无人机机巢控制的回收过程中,首先要打开舱门,确保飞机可识别到起降平台上的精降码使无人机安全降落,检测到飞机降落后,归中推杆相关的电机动作使归中杆收紧,确保飞机在起降平台上处于一个正向居中的位置,然后左右推杆电机动作,使横梁推着飞机到达转盘的取还位,光栅检测到后,固定无人机脚架的小电机固定住无人机,转盘转动使无人机进入充电位,此时降落回收过程基本完成,舱门关闭,一个完整流程结束。

2.3 异地起降及精准降落流程

移动机场配合智能控制终端实现无人机自主起飞、任务执行、自主收回,开展自主巡检作业。飞机起飞后,移动机场前往巡检路线中任务终点等待飞机降落。采用基于多源传感器信息融合的精降算法,保障无人机精准降落。

无人机通过 RTK 模块实现厘米级精准定位,起飞前降落点由无人机提供,异地起降技术需要在无人机飞行过程中,解析原始 Home 点坐标,通过获取平台最新 RTK 坐标对 Home 点坐标进行更新,将修改后 Home 点坐标发送给无人机,执行降落指令^[7]。

现有各无人机虽开放部分软件开发工具包 SDK,但是由于无人机本身的保护机制,精降的指令调用依旧处于封闭状态,为克服 SDK 部分限制,异地起降命令触发并确认后,通过遥控链路终止当前返航任务,通过调用 SDK 修改 Home 点的方式,将 RTK 定位终端的位置信息替换为 Home 点信息,从而实现异地起降。需注意的是异地起降功能确认后作业车辆不允许再次移动,以免造成降落点失效而发生的无人机损伤。此种方式实现了 A 点起飞 B 点降落,让无人机作业半径大幅扩展。异地起降作业流程如图 8 所示。

无人机多任务移动巡检作业平台的精准降落功能主要依靠 RTK、视觉、方向传感器等数据的融合,优化图像处理算法以便进行姿态解算,调整无人机偏差矫正逻辑,提高无人机精降成功率。

其实现过程为无人机在低空飞行并逐渐靠近预

定的降落区域,其搭载的相机拍摄下方着陆区域的二维码图像。将拍摄图像传送到无人机遥控器的数据处理单元进行初步分析,确认是否包含预期模板图像。如果图像包含目标模板二维码,则使用模板匹配算法,在图像中搜索与已知模板相似的部分,计算两者的相似度。

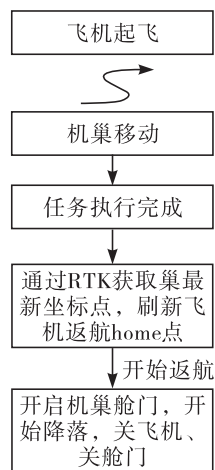


图 8 无人机多任务移动巡检作业平台
异地起降作业流程图

在找到最佳匹配位置后,计算无人机当前视觉定位与模板中心点的偏移量。根据偏移量,无人机控制系统实时调整无人机姿态、高度及位置,确保其准确对准降落点。采用基于经典卡尔曼滤波的多传感器信息融合处理,减少无人机在飞行过程中因误差与自然因素导致飞行出现偏移^[8-10]。

优化前系统无法准确获取无人机精降状态,优化后系统可精确获取无人机当前精降状态,如未识别到二维码等待延时、精降成功、精降失败、正在进行精降、无人机已降落未停桨等,方便处理多种情况。无人机多任务移动巡检作业平台精准降落算法优化流程如图 9 所示。

3 实验测试

模拟实际作业环境,在道路空旷地点进行了多次飞行试验,在 pad 端导入飞机航线模板 kml 文件,创建任务好任务后执行一键起飞,无人机在到达定位点并悬停数秒后,移动车辆到另一点,停稳后 pad 端发送一键返航命令,统计完整流程实现情况并重点关注无人机是否可精准降落及降落精度,即无人机脚架中心与精降二维码中心的偏差,统计结果如表 1 所示。

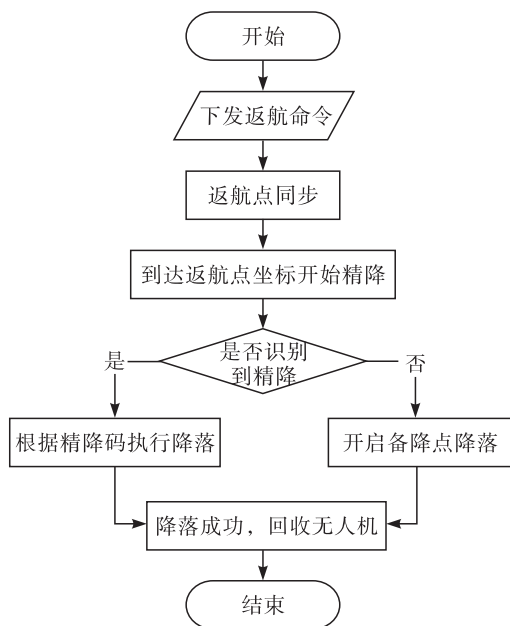


图9 无人机多任务移动巡检作业平台精准降落算法优化流程图

表1 精准降落偏差统计表

降落精度/cm	次数
0 ~ 5	78
5 ~ 10	17
10 ~ 15	3
> 15	2

经过循环往复多次起飞降落测试,降落成功率可达 99.3%,成功降落的平均精度约为 5 cm。

4 结语

该文针对巡检作业场景复杂多变,现有人工巡检及固定机场巡检模式只能原地等待无人机完成飞行任务、返回起航点,单次巡检作业难以满足机动、快速、大范围巡检需求,巡检效率有待提升的问题,研制了 1 种无人机多任务移动巡检作业平台,平台的主要优势在于支持 1~3 架无人机协同巡检,实现集群化作业,当一架无人机出现异常时,由其他无人

机完成作业,可提升作业容错率。另外,此平台整体属于自动化应用、无需车辆改装、部署灵活性高。在实际作业现场,操作人员在车中远程控制,可实现无人机一键起飞、自主作业和自动归巢等系列动作,有效降低了劳动强度,通过自主巡检、异地起降拓展了巡检覆盖区域,提升了作业机动性,实现无人机“即停”“即飞”“即回收”,适配复杂多变的巡检环境。

此平台自实施以来,展现出良好的经济效益,有效替代人工现场操作无人机,降低电力巡检作业成本和人员操作风险,实现无人机的全自动作业,每天的作业效率得到有效提升。

参考文献:

- [1] 隋宇,宁平凡,牛萍娟,等.面向架空输电线路的挂载无人机电力巡检技术研究综述[J].电网技术,2021,45(09):3636-3648.
- [2] 李晋,何勇,董丽梦,等.电力监测无人机与移动机巢协同路径规划方法研究[J].制造业自动化,2023,45(10):151-157.
- [3] 隋宇,宁平凡,牛萍娟,等.面向架空输电线路的挂载无人机电力巡检技术研究综述[J].电网技术,2021,45(09):3636-3648.
- [4] 缪希仁,刘志颖,鄢齐晨.无人机输电线路智能巡检技术综述[J].福州大学学报(自然科学版),2020,48(02):198-209.
- [5] 程宇航.基于多传感器融合的车辆定位算法研究[D].北京:清华大学,2024.
- [6] 刘茂丰.巡检无人机的智能机巢设计[D].南京:南京信息工程大学,2022.
- [7] 梁璐莉.物流无人机车载仓库起降辅助系统研究[D].青岛:山东科技大学,2021.
- [8] 曾振华.多旋翼无人机精准降落的控制系统研究[D].广州:广东工业大学,2021.
- [9] 贺勇,李子豪,高正涛.基于视觉导航的无人机自主精准降落[J].电光与控制,2023,30(04):88-93.
- [10] 贺勇,李子豪,高正涛.基于视觉导航的无人机自主精准降落[J].电光与控制,2023,30(04):88-93.

欢迎投稿！ 欢迎订阅！ 欢迎刊登广告！

国内邮发代号:52-49 国际发行代号:BM529 定价:18.00 元/期 108.00 元/年
地址:西安市高新区沣惠南路 8 号 邮编:710075 电话:029-81871277
网址:http://yb-zdh.shaangu-group.com 电子邮箱:gyybbjb@126.com