

# 基于无人机技术的灾后林地全地形植物资源探测定位系统

邹子辰 王宪彬

(东北林业大学土木与交通学院 哈尔滨 150006)

**摘要:** 森林资源是关键的自然资源,林业经济也是国民经济重要的组成部分。然而,我国森林自然灾害频发,传统的灾后森林资源探测方法存在效率低、精度不足等问题。本文设计并实现了一种基于无人机技术的灾后林地全地形植物资源探测定位系统,旨在通过人工智能图像识别、北斗定位和遥感技术,提升探测的效率和精度。系统采用大疆精灵 4Pro 无人机作为平台,搭载高分辨率相机、WIFI 模块和北斗定位模块,实现了对灾后林地植物资源的快速识别与精确定位。实验结果表明,该系统在飞行性能、数据传输稳定性、图像识别准确性和定位精度等方面均表现出较高的可靠性,识别率接近 90%,定位精度达到厘米级。该系统为灾后森林资源管理提供了高效、低成本的技术支持,具有重要的应用价值。

**关键词:** 无人机;人工智能技术;林地全地形;植物资源探测;北斗定位;图像识别

中图分类号: V279; TN967 文献标识码: A 国家标准学科分类代码: 510.2103

## Post disaster forest all terrain plant resource detection and positioning system based on UAV

Zou Zichen Wang Xianbin

(School of Civil Engineering and Transportation, Northeast Forestry University, Harbin 150006, China)

**Abstract:** Forest resources are key natural resources, and forestry economy is also an important component of the national economy. However, natural disasters occur frequently in China's forests, and traditional post-disaster forest resource detection methods face challenges such as low efficiency and insufficient accuracy. This article designs and implements a post-disaster all-terrain forest plant resource detection and positioning system based on drone technology. The aim is to enhance detection efficiency and accuracy through artificial intelligence image recognition, Beidou positioning, and remote sensing technology. The system utilizes the DJI Phantom 4 Pro drone as its platform, equipped with high-resolution cameras, WIFI modules, and Beidou positioning modules, enabling rapid identification and precise positioning of post-disaster forest plant resources. Experimental results demonstrate that the system exhibits high reliability in flight performance, data transmission stability, image recognition accuracy, and positioning precision, achieving a recognition rate of nearly 90% and positioning accuracy down to the centimeter level. This system offers efficient and low-cost technical support for post-disaster forest resource management, highlighting significant application value.

**Keywords:** unmanned aerial vehicle; artificial intelligence technology; forest land; all terrain plant resource detection; Beidou positioning; image recognition

## 0 引言

森林作为地球上不可或缺的自然资源,在调节全球气候、维持生态平衡和助力碳中和目标实现等方面发挥着不可替代的作用。然而,我国森林资源面临着严峻的自然灾

害威胁,尤其是森林火灾和病虫害问题日益突出。联合国粮农组织的统计表明,森林火灾是全球八大主要自然灾害之一,而中国是全球范围内森林火灾最为严重的国家之一。近年来,我国森林火灾频发,2010~2019年间,火灾总面积达 48.5 万公顷,直接经济损失超过 1 亿元。与此同时,森

林病虫害的种类和危害程度也在不断升级,目前已发现 8 000 多种病虫害,其中 300 多种对树木生长造成直接威胁<sup>[1]</sup>,严重影响了森林生态系统的稳定性。

传统的灾后森林植物资源信息探测主要以野外样地勘察为基础,成本高且工作量大,难以获取精确的空间信息<sup>[2]</sup>;而卫星遥感技术则受限于传感器分辨率和环境因素,难以满足实时、全面的探测需求。近年来,无人机技术作为一种新型的遥感平台,因其机动性强、应用范围广、操作灵活等优点<sup>[3]</sup>,在处理森林火灾和森林病虫害方面展现出了显著的优势。例如,杨静<sup>[4]</sup>将图像处理和 BP 神经网络技术应用于在无人机系统中,用于构建森林防火系统。陈磊<sup>[5]</sup>提出可通过无人机定期巡飞获取高清图像,通过图像处理及时发现病虫害迹象。周理想等<sup>[6]</sup>采用基于回波类型的分类方法,利用无人机搭载激光雷达获取的覆盖林冠和林下的完整点云,生成数字地形模型。Jarahizadeh 等<sup>[7]</sup>探讨了通过无人机激光扫描技术,为森林作业提供高密度数据和灵活作业条件。Araújo 等<sup>[8]</sup>研究了通过一种通过多无人机概念验证高效森林测绘的方法。此外,Niwa<sup>[9]</sup>研究探讨了使用无人机平台和机器学习图像,监测并评估森林指示物种多时相变化,并研究导致这些变化的因素。

## 1 基于无人机技术的灾后林地全地形植物资源探测定位系统理论

### 1.1 系统总体架构

该系统主要采用 Arduino uno 单片机进行系统控制,传感器部分主要采用 K210 摄像头获取图像数据。

摄像头置于无人机底部,用于识别前方环境并联网连接手机将图像数据远程显示在手机上供操作人员通过手机 APP 控制无人机行动,对于特定植物可以对视频进行截图并通过 ESP8266 串口 WiFi 模块联网上传至嘉楠开发者社区服务器进行图像识别。

在信号不佳地区通过蓝牙适配器增强蓝牙信号实现摄像头与手机间的实时视频数据传输。图像识别部分则采用离线识别模型进行识别进行粗略识别并在接入联网后进行细致分类。

识别完成后根据北斗定位模块的定位数据对植物进行定位并传入数据库进行统计。其中离线识别图像系统于飞桨 EasyDL 平台自主搭建训练。无人机硬件架构如图 1 所示。

### 1.2 可行性分析

无人机机身轻便,具备在灾后环境恶劣的森林中的行动能力,摄像头与手机连接可将图像视频数据远程传输至手机端,WiFi 模块通过增强信号使得捕捉到的植物图像数据可以联网进行识别,若地区无信号则可通过离线数据库进行识别。手机控制距离远,可以实现远距离控制。北斗定位模块依靠卫星定位,对环境要求低准确度高。

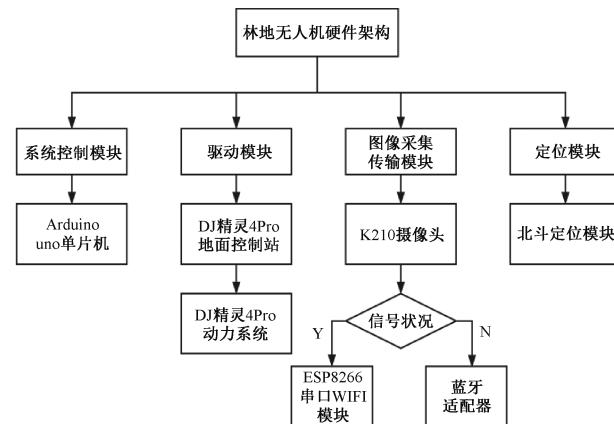


图 1 林地无人机硬件架构

Fig. 1 Hardware architecture of forest unmanned aerial vehicle

### 1.3 无人机平台选择与设计

作为核心载体,无人机平台整体的性能将直接影响其在森林灾后资源检测定位的工作效能,其选型需考虑载荷能力,飞行性能,定位精度,数据传输能力以及环境适应性等多方面因素<sup>[10]</sup>,以确保能够高效、准确地完成复杂环境下的资源识别定位任务。

基于上述要求,选择大疆精灵 4Pro 无人机(如图 2 所示)作为本项目无人机平台。大疆精灵 4Pro 无人机具备卓越的飞行能力,续航时间可达 30 min,其抗风能力可达 6 级风,能在灾后复杂气象条件下保持稳定飞行,一体化的机身保证其能够在狭窄林地环境中灵活飞行。同时,大疆精灵 4 Pro 支持北斗卫星定位系统,可实现厘米级高精度定位,为植物资源的精确定位提供可靠保障。此外,该无人机的数据传输模块性能优异,能够在复杂环境中实现数据的高速、稳定传输,且传输距离远,能够确保在远离控制中心的情况下仍能正常工作。其耐候性和抗干扰能力也表现出色,能够在 0 ℃~40 ℃ 的温度范围内正常工作,并在复杂的电磁环境中保持飞行安全和数据传输的稳定性。



图 2 大疆精灵 4Pro 无人机

Fig. 2 DJI Phantom 4Pro

在灾后林地全地形植物资源探测定位系统中,由于需要搭载多种传感器和设备,如高分辨率相机、WIFI 模块、以及北斗定位模块等,无人机必须具备足够的载荷能力以保

证这些设备的稳定运行。大疆精灵 4 Pro 自身重量约为 1.38 kg, 最大起飞重量可达 3.5 kg。因此, 其额外载重能力可以通过以下公式计算:

$$\text{额外载重能力} = \text{最大起飞重量} - \text{自身重量} = 3.5 \text{ kg} - 1.38 \text{ kg} = 2.12 \text{ kg}$$

这意味着它能够额外携带约 2.12 kg 的设备, 保证了其具备良好的扩展性, 能根据任务需求灵活配置搭载装置, 完全满足探测任务中对多种模块的搭载需求。

#### 1.4 系统控制模块设计

系统控制模块作为无人机的核心单元, 选用 Arduino-uno 单片机作为主控制器。该单片机具备高性能、低功耗、易于编程等优点, 能够满足无人机飞行控制、数据采集与传输等多任务处理需求。通过编写相应的控制程序, Arduino-uno 单片机能够精确控制各搭载模块的运行状态, 确保整个系统的稳定运行。

#### 1.5 图片采集传输模块设计

图片采集传输模块负责实时获取无人机前方的视频数据, 并将其传输至地面控制端。该模块由 K210 摄像头、蓝牙适配器和 WiFi 模块组成。在信号良好的地区, 图像数据通过 WiFi 模块联网传输至手机端, 操作人员可通过 DJI GO 4 应用程序实时查看无人机前方的视频画面, 以便对飞行路径进行调整和控制。在信号较弱的区域, 通过蓝牙适配器增强蓝牙信号, 将摄像头与手机连接, 实现图像数据的实时传输, 确保无人机在复杂环境下的数据传输稳定性。

#### 1.6 图片识别统计模块设计

图片采集识别统计模块负责实现植物资源识别与统计。该模块硬件由 ESP8266 串口 WiFi 模块、K210 模块以及蓝牙适配器组成。在遥控模块手柄上设置图片采集按键, 操作人员可根据需要对自主采集的图片进行截图。截图后的图像数据通过 WiFi 模块联网上传至嘉楠开发者社区进行图像识别。嘉楠开发者社区凭借其强大的图像处理和深度学习能力<sup>[11]</sup>, 能够快速准确地识别出图片中的植物种类。在信号不佳的地区, 利用无人机搭载的蓝牙适配器, 通过自主训练的离线识别模型对图像进行粗略识别, 并在接入网络后进行细致分类。识别完成后, 结合北斗定位模块的定位数据, 将识别结果分类导入数据库进行统计分析, 便于研究人员全面掌握森林珍稀植物资源的分布情况。

#### 1.7 远程遥控驱动模块设计

远程遥控驱动模块负责实现无人机的飞行控制和数据传输。本系统采用大疆精灵 4 Pro 的原装遥控器作为远程控制设备, 其基于 Lightbridge 高清图传技术, 延迟低至 200 ms, 通过 2.4 和 5.8 GHz 双频段与无人机通信, 确保在复杂林地环境中的稳定操作。通过 DJI GO 4 应用程序, 操作人员可以实时监控无人机的飞行状态、调整飞行参数, 并查看摄像头采集的图像数据。遥控器内置 6 000 mAh 电池, 可持续工作约 4 h, 满足长时间任务需求。遥控器通过 2.4 和 5.8 GHz 双频段与无人机通信, 有效避免了信号

干扰, 并集成了一键返航、自动悬停<sup>[12]</sup>和紧急停止等功能, 显著提升了系统的安全性和操作便捷性。该遥控器的高性能设计使其能够适应复杂林地环境下的飞行任务需求, 为灾后林地植物资源探测提供了可靠的技术支持。

### 2 系统工作流程设计

基于无人机技术的灾后林地全地形植物资源探测定位系统的工作流程为: 首先, 系统初始化阶段检查无人机硬件并配置飞行参数, 包括飞行高度、速度和传感器设置。在飞行过程中, K210 摄像头实时采集前方的视频和图像数据, 并通过 WiFi 模块或蓝牙适配器将数据传输至地面控制端。数据可通过在线模式上传至嘉楠开发者社区进行图像识别, 或通过离线模式利用蓝牙适配器进行初步识别。

随后, 系统对采集到的图像数据进行初步处理和分析, 识别出图像中的植物种类, 并结合北斗定位模块的定位数据, 对识别结果进行分类和统计。操作人员根据结果制作植物资源分布图和统计报表, 为灾后森林资源的管理和保护提供科学依据。在整个工作流程中, 系统自动备份数据功能以确保安全存储。当无人机电量不足时, 系统会自动发出返航指令, 确保无人机安全返回并进行电池更换, 以便继续执行后续任务。

通过这一系统工作流程, 该系统能够高效、准确地完成对林地的资源监测与管理, 为生态保护和可持续利用提供了重要的技术支持。林地无人机工作流程如图 3 所示。

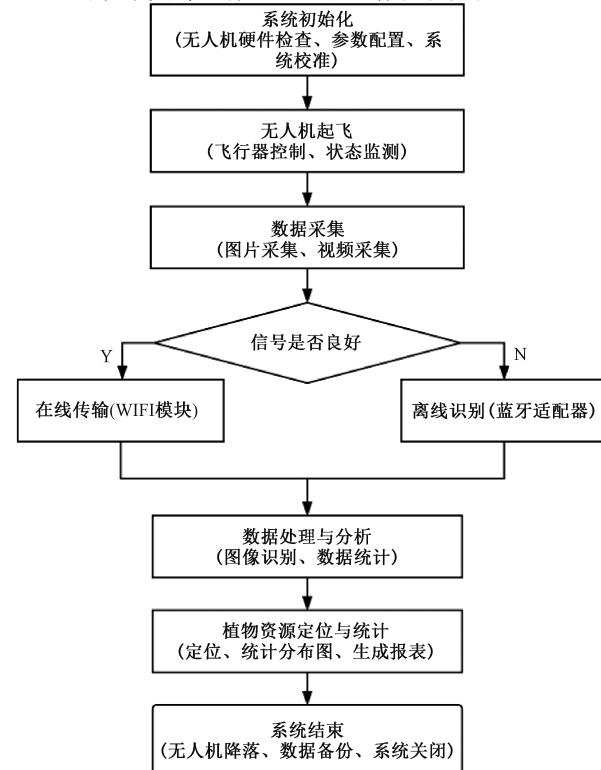


图 3 林地无人机工作流程图

Fig. 3 Workflow diagram of forest unmanned aerial vehicle

### 3 硬件系统的测试与应用

#### 3.1 实验设计

为了全面评估基于无人机技术的灾后林地全地形植物资源探测定位系统的性能和有效性,本研究设计了一系列实验,涵盖飞行性能测试、传感器数据采集测试、植物资源识别准确性测试以及定位精度测试。实验旨在验证无人机系统在复杂林地环境中的实际应用能力,为后续的系统优化和改进提供科学依据。本实验选取安徽省合肥市包河区塘西河公园作为测试现场,在此场景下对大疆精灵 4Pro 无人机搭载的相机进行性能测试。模拟灾后森林的复杂地形和多变气候条件。测试流程遵循系统初始化、起飞、数据采集、传输、处理和分析、定位以及系统结束的标准操作程序。

#### 3.2 传感器数据采集测试

为确保高分辨率相机在不同环境条件下的性能表现,实验开始前,操作人员对无人机及其搭载的高分辨率相机进行了全面的校准,以确保设备处于最佳工作状态。根据实验需求,选择了不同的时间段进行实验,对应不同的光照条件和温度范围,以全面评估相机的环境适应性<sup>[13]</sup>。

实验过程中,无人机按照预先规划的飞行路径进行飞行,在每种光照条件下,操控高分辨率相机以固定间隔拍摄图像,并在低光照条件下手动调整 ISO 至 12 800 以增强图像亮度。每次拍摄后,操作人员记录了图像的 ISO 值、光照条件、温度等环境参数,以确保数据的完整性。

实验结果表明,高分辨率相机在自动模式下,ISO 范围为 100~3 200,能够适应大多数光照条件;在手动模式下,ISO 范围可扩展至 100~12 800,进一步增强了在低光照环境下的拍摄能力。图像分辨率达到  $3840 \times 2160$ ,确保了图像细节的清晰度和丰富性,能够满足植物资源识别和定位的需求。此外,相机在  $0^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$  的环境温度范围内均能稳定工作,表现出良好的环境适应性。不同光照条件和温度范围内,高分辨率相机的性能表现如测试数据如表 1 所示。

表 1 传感器数据采集测试结果表

Table 1 Sensor data collection test results table

测试条件	ISO 值	图片分辨率	图片清晰度	温度范围/°C	备注
强光 (晴天)	100	3 840 × 2 160	高	25~30	图像细节丰富,色彩还原度高
		3 840 × 2 160	中	20~25	细节清晰,噪点较少
中等光照	400	3 840 × 2 160	低	15~20	噪点较多,但细节仍可辨识
		3 840 × 2 160	中	20~25	噪点较少,细节清晰
低光照 (黄昏)	12 800	3 840 × 2 160	低	15~20	噪点较多,但细节仍可辨识
		3 840 × 2 160	中	20~25	噪点较少,细节清晰

#### 3.3 飞行能力测试

飞行能力测试注重评估无人机在不同负载条件下的续航时间<sup>[14]</sup>、飞行稳定性和抗风能力,以确保其在复杂林地

环境中的适用性。实验采用大疆精灵 4Pro 无人机作为测试平台,操作人员分别在无负载和最大负载条件下进行了多次飞行测试。测试环境模拟了灾后森林的复杂地形和多变气候条件,包括无风、微风(3~4 级风)和强风(6 级风)等多种气象状况。

在续航时间测试中,无人机在满电状态下进行飞行,记录从起飞至电量耗尽的时间。实验结果表明,无人机在无负载条件下的续航时间为 30 min 55 s,与厂商标称值 30 min 基本一致;在最大负载(2.12 kg)条件下,续航时间为 28 min,仍能满足单次飞行任务的需求。飞行稳定性测试中,无人机在无风、微风和强风条件下均表现出良好的稳定性。在无风条件下,无人机飞行轨迹平滑;在微风条件下飞行轨迹没有波动,仍保持稳定;在强风条件下,无人机飞行轨迹略有波动,但未出现失控现象。

抗风能力测试中,无人机在 6 级风条件下进行飞行,记录其飞行稳定性。实验结果表明,无人机在 6 级风条件下仍能保持稳定飞行,未出现失控或坠毁现象。表 2 总结了无人机在不同条件下的飞行性能测试结果。

表 2 大疆精灵 4Pro 无人机飞行能力实验数据

Table 2 Experimental data of DJPhantom 4Pro drone flight capability

测试项目	测试条件	测试结果
续航时间(满电)	空载	30 min 55 s
	满载	28 min
	无风	稳定
飞行稳定性	微风	稳定
	强风	稳定
	6 级风	稳定飞行

#### 3.4 植物资源识别准确性测试

植物资源识别准确性测试通过训练 AI 模型,验证了系统识别的准确率。实验使用的 AI 模型基于卷积神经网络(CNN)构建<sup>[15]</sup>,训练集主要从公开数据集和网络资源中收集,涵盖了樟子松、白桦等多种典型林地植物。模型在嘉楠开发者社区上训练,训练次数为 240,批量大小为 8。在信号不佳区域,使用无人机搭载的蓝牙适配器,通过离线识别模型对图像进行初步识别,并在接入网络后进行细致分类。实验结果表明,系统在线模式下的识别准确率接近 90%,在离线模式下的识别准确率达到 85%。图 4 及图 5 以樟子松为例展示了一种识别结果。

训练结果验证,在实际应用中,无人机系统通过自主训练的 AI 模型实现了对植物资源的快速识别和分类,为后续的数据分析和资源管理提供了可靠的基础。

#### 3.5 定位精度测试

定位精度测试通过比较无人机实际飞行轨迹与北斗定位模块记录的位置数据,验证了系统的定位精度。

训练方式	训练算法	训练状态	模型效果
AutoDL 模式	仅导出源文件-超高性能	● 训练完成	mAP: 91.75% ⑦ 精确率: 95.24% ⑦ 召回率: 86.96% ⑦ 完整评估结果

图 4 离线识别模型训练结果

Fig. 4 Offline recognition model training results



图 5 识别结果演示

Fig. 5 Demonstration of recognition results

实验开始后,操作人员操纵无人机按照预设的飞行路径进行多次飞行,飞行高度为 50 m,飞行速度为 5 m/s。每次飞行后,通过北斗定位模块的显示屏分别记录测试地点的经纬度数据,并与无人机实际飞行轨迹进行对比,计算定位误差<sup>[16]</sup>。图 6 为无人机飞行轨迹图。

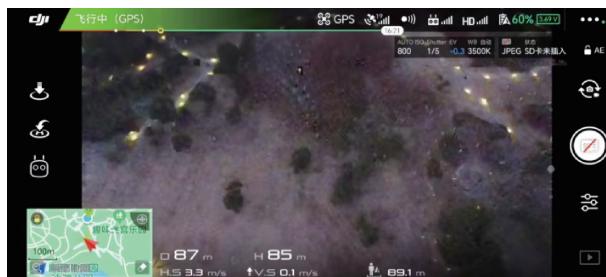


图 6 无人机飞行轨迹图

Fig. 6 UAV flight trajectory diagram

实验结果表明,北斗定位模块在开阔地带的定位精度达到厘米级,最大定位误差不超过 5 cm。在障碍物较多的林地环境中,定位误差略有增加,但仍能控制在 10 cm 以内。因此,北斗定位模块在复杂林地环境中的定位精度表现出色,能够满足灾后林地植物资源探测的需求。

## 4 结 论

针对灾后森林资源探测的需求和当前技术的不足之处,设计并实现了一种基于无人机技术的全地形植物资源探测定位系统。该系统通过将图像识别技术和北斗定位系统与无人机平台结合<sup>[17]</sup>,能够高效地对森林中的植物资源进行精确识别和定位。

实验结果表明,该系统在数据采集、飞行性能、图像识别准确性及定位精度等方面均表现出较高的可靠性和效率,满足了复杂林地环境中的资源探测需求。未来的研究工作将集中在研究适应不同气候和地形条件的飞行策略,拓宽系统的应用范围。

## 参考文献

- [1] 焦挺. 无人机在森林病虫害防治上的应用[J]. 中国林副特产, 2023(4):101-102.
- [2] JIAO T. Application of unmanned aerial vehicles in forest pest and disease control[J]. Forest By-Product and Speciality in China, 2023(4):101-102.
- [3] 崔中耀, 赵凤君, 赵爽, 等. 基于多光谱无人机及机器学习的林木火灾受损信息提取研究[J]. 自然灾害学报, 2024,33(1):99-108.
- [4] CUI ZH Y, ZHAO F J, ZHAO SH, et al. Research on information extraction of forest fire damage based on multispectral UAV and machine learning [J]. Journal of Natural Disasters, 2024,33(1):99-108.
- [5] 徐凯男, 朱红伟. 无人机在森林防火中的应用研究[J]. 林业机械与木工设备, 2024,52(8):57-63.
- [6] XU K N, ZHU H W. Research on the application of UAV in forest fire prevention[J]. Forestry Machinery and Woodworking Equipment, 2024,52(8):57-63.
- [7] 杨静. 基于图像处理和 BP 神经网络的森林防火无人机系统[J]农机化研究, 2025,47(02):205-209.
- [8] YANG J. Forest fire prevention unmanned aerial vehicle system based on image processing and BP neural network [J]. Agricultural Mechanization Research, 2025,47(2):205-209.
- [9] 陈磊. 无人机在森林资源调查中的应用[J]. 中国林业产业, 2024(7):81-82.
- [10] CHEN L. Application of UAV in forest resource survey[J]. China Forestry Industry, 2024(7): 81-82.
- [11] 周理想, 曹明兰, 朗博, 等. 基于无人机激光雷达点云的树干提取[J]. 中南林业科技大学学报, 2024,44(11):22-28.
- [12] ZHOU L X, CAO M L, LANG B, et al. Extraction of tree trunks based on UAV lidar point clouds [J]. Journal of Central South University of Forestry and Technology, 2024,44(11):22-28.
- [13] JARAHIZADEH S, SALEHI B. Advancing Tree Detection in Forest Environments: A Deep Learning Object Detector Approach with UAV LiDAR Data[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2025: 128695, DOI:10.1016/j.ufug.2025.128695.
- [14] ARAÚJO G A, PIZZINO P A C, COUCEIRO M S, et al. A multi-drone system proof of concept for forestry applications[J]. Drones, 2025, 9(2): 80.

- [9] NIWA H. Multitemporal monitoring of forest indicator species using UAV and machine learning image recognition[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2025, 197(1): 1-12.
- [10] 刘金成,王海明,何亚琼,等.无人机技术在精准林业中的应用与挑战[J].农业工程学报,2024,40(5):14-24.
- LIU J CH, WANG H M, HE Y Q, et al. Application and challenges of UAV-based technology in precision forestry [J]. Journal of Agricultural Engineering, 2024, 40(5): 14-24.
- [11] 李剑君,李昂,王勇飞,等.变工况条件下三相异步电机匝间短路故障诊断[J].国外电子测量技术,2024,43(3):162-167.
- LI J J, LI ANG, WANG Y F, et al. Diagnosis of interturn short circuit fault in three-phase asynchronous motor under variable operating conditions [J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2024,43(3):162-167.
- [12] 李斌,蔡海晨,赵传信,等.基于计算重用的无人机辅助边缘计算系统能耗优化[J].电子与信息学报,2024,46(7):2741-2747.
- LI B, CAI H CH, ZHAO CH X, et al. Energy optimization for computing reuse in unmanned aerial vehicle-assisted edge computing systems[J]. Journal of Electronics and Information Technology, 2024, 46 (7):2741-2747.
- [13] 多婧赟,赵龙,赵毅琳,等.动态特征剔除的无人系统视觉/惯性导航方法[J].电子测量与仪器学报,2023,37(12):126-135.
- DUO J Y, ZHAO L, ZHAO Y L, et al. Visual/inertial navigation method for unmanned system with dynamic feature removal [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2023, 37 ( 12 ): 126-135.
- [14] 宋晔,吴一全.基于无人机航拍的风力发电机叶片表面缺陷检测综述[J].仪器仪表学报,2024,45(10):1-25.
- SONG Y, WU Y Q. Review of wind turbine blade surface defect detection based on UAV aerial photography [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2024,45(10):1-25.
- [15] 周汝琴,王鹏,戴晨光,等.基于深度学习的成对点云刚性配准现状与进展[J].遥感学报,2024,28(12):3074-3093.
- ZHOU R Q, WANG P, DAI CH G, et al. Review of wind turbine blade surface defect detection based on UAV aerial photography [J]. Journal of Remote Sensing, 2024, 28(12): 3074-3093.
- [16] 刘健,陈何伟,曾国奇.应急场景下蜂群无人机协同遥感仿真系统构建[J].电子测量技术,2024,47(13):18-26.
- LIU J, CHEN H W, ZENG G Q. Construction of swarm unmanned aerial vehicle cooperative remote sensing simulation system under emergency scenarios [J]. Electronic Measurement Technology, 2024, 47 ( 13 ): 18-26.
- [17] 苏雨蕾,黄丹丹,刘智,等.无人机对地小目标检测方法研究[J].电子测量与仪器学报,2024,38(9):144-154.
- SU Y L, HUANG D D, LIU ZH, et al. Research on detection methods of small targets on ground by UAV[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2024, 38(9):144-154.

### 作者简介

邹子辰(通信作者),本科,主要研究方向为交通运输技术。

E-mail:2184420180@qq.com

王宪彬,博士,副教授,主要研究方向为交通运输技术。

E-mail:xbwang10@163.com