

森林火灾无人机协同监测与精准扑救技术研发

秦艳

河南华安消防技术有限公司, 河南 郑州 450001

摘要：森林火灾严重威胁生态环境、人民生命财产安全及社会经济发展。无人机技术的兴起为森林火灾的监测与扑救带来新契机。本文聚焦森林火灾无人机协同监测与精准扑救技术研发, 阐述了无人机在森林火灾防控中的重要意义。深入分析无人机协同监测的关键技术, 包括多机通信与协作机制、传感器融合技术等; 探讨精准扑救技术, 如智能决策系统、高效灭火装置集成等。通过研究这些技术, 旨在构建一套高效、智能的无人机协同监测与精准扑救体系, 提升森林火灾防控能力, 为森林资源保护提供有力技术支持。

关键词：森林火灾; 无人机; 协同监测; 精准扑救; 传感器融合

Research and development of collaborative monitoring and precision fire fighting technology for forest fires by UAVs

Qin Yan

Henan Hua'an Fire Technology Co., LTD. Zhengzhou, Henan 450001

Abstract: Forest fires pose a severe threat to the ecological environment, people's lives and property, as well as social and economic development. The rise of drone technology has brought new opportunities for monitoring and combating forest fires. This paper focuses on the research and development of collaborative monitoring and precise firefighting technologies using drones in forest fire prevention and control, highlighting the significant role of drones in this field. It delves into key technologies for collaborative monitoring, including multi-drone communication and collaboration mechanisms, sensor fusion technology, and explores precise firefighting techniques such as intelligent decision-making systems and efficient fire suppression device integration. Through the study of these technologies, the aim is to establish an efficient and intelligent system for collaborative monitoring and precise firefighting using drones, enhancing forest fire prevention capabilities and providing robust technical support for forest resource protection.

Keywords: forest fire; UAV; collaborative monitoring; accurate suppression; sensor fusion

引言

随着无人机技术的飞速发展, 其在森林火灾防控领域的应用日益广泛。无人机具有机动性强、部署灵活、可在复杂环境下作业等优势, 能够快速抵达火灾现场, 获取实时信息。多架无人机协同作业, 可实现对大面积森林的全方位、动态监测, 及时发现火灾隐患并准确确定火灾位置。同时, 搭载先进灭火装置和智能决策系统的无人机, 能够实现精准扑救, 提高灭火效率, 减少火灾损失。因此, 开展森林火灾无人机协同监测与精准扑救技术研发具有重要的现实意义。

一、无人机协同监测技术

(一) 多机通信与协作机制

多架无人机协同监测森林火灾, 需要建立高效可靠的通信与协作机制。目前, 常用的无人机通信技术包括数传电台、卫星通信和 4G/5G 通信等。数传电台具有成本低、抗干扰能力强的优点, 但通信距离有限; 卫星通信覆盖范围广, 但通信延迟较大; 4G/5G 通信具有高速率、低延迟的特点, 但在偏远山区可能存在信号覆盖不足的问题。^[1] 因此, 应根据实际应用场景, 选择合适的通信技术或采用多种通信技术融合的方式, 确保无人机之间以及无人机与地面控制站之间的稳定通信。

在协作机制方面, 采用分布式任务分配算法, 根据无人机的类型、性能、位置以及火灾现场的情况, 合理分配监测任务。例如, 利用搭载高清摄像头的无人机进行火灾现场的图像采集, 搭载热成像仪的无人机负责火源探测, 搭载气象传感器的无人机监测火灾现场的气象参数。同时, 建立无人机之间的信息共享机制, 使各无人机能够实时获取其他无人机的监测数据, 实现协同作业。

(二) 传感器融合技术

为了获取更全面、准确的火灾信息, 无人机需要搭载多种传感器, 如光学摄像头、热成像仪、红外传感器、气象传感器等。传感器融合技术能够将不同传感器采集到的数据进行综合处理,

提高数据的准确性和可靠性。

数据层融合是最直接的融合方式，将来自不同传感器的原始数据进行融合处理。例如，将光学摄像头和热成像仪采集到的图像数据进行融合，既能获取火灾现场的清晰图像，又能准确识别火源位置。特征层融合则是先对各传感器采集的数据进行特征提取，然后将特征信息进行融合。这种方式可以减少数据量，提高处理效率，同时保留关键信息。决策层融合是在各传感器独立进行决策的基础上，将决策结果进行融合。例如，通过分析光学摄像头、热成像仪和红外传感器的数据，分别判断火灾的规模、发展趋势等，然后综合各传感器的决策结果，得出更准确的火灾评估结论。

（三）路径规划与自主导航技术

无人机在执行森林火灾监测任务时，需要合理规划飞行路径，以确保能够快速、全面地监测火灾现场，同时避免与障碍物碰撞。^[2] 路径规划算法应综合考虑火灾区域的地形、气象条件、无人机的性能等因素。常用的路径规划算法包括 Dijkstra 算法、A 算法、遗传算法等。Dijkstra 算法和 A 算法属于基于图搜索的算法，能够找到从起点到终点的最优路径，但计算复杂度较高；遗传算法是一种仿生优化算法，通过模拟自然进化过程寻找最优解，具有较好的全局搜索能力和鲁棒性。

为了实现无人机的自主导航，需要结合全球定位系统（GPS）、惯性导航系统（INS）和视觉导航技术等。GPS 提供无人机的位置信息，但在卫星信号受遮挡的情况下，定位精度会受到影响；INS 通过测量无人机的加速度和角速度来推算其位置和姿态，具有自主性强、短期精度高的特点，但存在累积误差；视觉导航技术则利用无人机搭载的摄像头获取周围环境的图像信息，通过图像处理和分析实现自主导航。将多种导航技术融合使用，可以提高无人机导航的准确性和可靠性。

二、无人机精准扑救技术

（一）智能决策系统

智能决策系统是实现无人机精准扑救的核心技术之一。该系统基于大数据、人工智能和机器学习技术，对无人机采集的火灾数据进行处理和分析，预测火灾的发展趋势，制定最优的扑救方案。

首先，建立火灾模型，根据火灾现场的温度、风速、风向、地形等因素，模拟火灾的蔓延过程。通过对大量历史火灾数据的学习和分析，优化火灾模型的参数，提高预测的准确性。然后，利用机器学习算法，对无人机采集的图像、视频和传感器数据进行特征提取和分类，识别火灾的类型、规模和危险程度。根据火灾的预测结果和识别信息，结合无人机的性能和搭载的灭火装置，制定个性化的扑救方案。例如，对于小规模火灾，可以采用无人机直接投放灭火药剂的方式；对于大规模火灾，则需要协调多架无人机进行协同扑救，并合理安排灭火顺序和方式。^[3]

（二）高效灭火装置集成

为了提高无人机的灭火效率，需要研发和集成高效的灭火装

置。目前，常用的无人机灭火装置包括干粉灭火器、水基灭火器、二氧化碳灭火器等。干粉灭火器具有灭火速度快、适用范围广的优点，但对环境有一定污染；水基灭火器环保、灭火效果好，但重量较大，对无人机的负载能力要求较高；二氧化碳灭火器灭火后不留痕迹，适用于对环境要求较高的场所，但成本较高。

在灭火装置的设计和集成过程中，需要考虑无人机的负载能力、飞行稳定性和灭火效果等因素。采用轻量化、小型化的设计理念，优化灭火装置的结构和性能，提高其与无人机的适配性。同时，研发新型灭火药剂和灭火技术，如超细干粉灭火剂、泡沫灭火剂等，提高灭火效率和效果。此外，还可以将灭火装置与无人机的导航系统和智能决策系统相结合，实现灭火装置的自动瞄准和精准投放，提高灭火的准确性。

（三）通信与指挥系统优化

在无人机精准扑救过程中，通信与指挥系统的稳定性和高效性至关重要。一方面，要确保无人机与地面控制站之间的通信畅通，及时传输火灾数据和扑救指令；另一方面，要实现多架无人机之间的协同指挥，确保扑救行动的有序进行。

采用先进的通信技术，如 5G 通信、卫星通信等，提高通信的带宽和稳定性，减少数据传输延迟。建立统一的指挥平台，对多架无人机进行集中管理和指挥。指挥平台可以实时显示无人机的位置、状态、任务执行情况以及火灾现场的实时图像和数据，方便指挥员进行决策和调度。同时，利用虚拟现实（VR）和增强现实（AR）技术，为指挥员提供更加直观、准确的火灾现场信息，提高指挥决策的科学性和准确性。^[4]

（四）扑救路径智能规划

在执行精准扑救任务时，无人机需依据复杂的火灾现场环境规划最佳飞行路径。借助地理信息系统（GIS）与实时获取的火灾现场数据，构建精确的三维地形和火势分布模型。通过智能路径规划算法，综合考虑障碍物（如树木、山峰等）、风向风速对火势蔓延及无人机飞行的影响，以及与其他协同作业无人机的路径避让需求，为每架无人机规划出安全且高效的飞行路线。例如，在面对火势呈扇形蔓延且前方有大面积树林阻碍的情况，算法能够自动规划出从火势侧翼迂回靠近火源核心区域的飞行路径，确保无人机在躲避障碍物的同时，能以最短时间抵达最佳扑救位置，提高扑救效率并保障无人机飞行安全。

（五）灭火效果实时评估与反馈机制

灭火行动完成后，及时准确地评估灭火效果对于后续扑救决策调整极为关键。利用无人机搭载的多光谱相机、热成像仪等设备，在灭火后对火灾区域进行二次扫描监测。通过分析拍摄的图像和数据，对比灭火前后火源区域的温度变化、烟雾浓度消散情况以及过火面积变化等参数，结合机器学习算法构建的灭火效果评估模型，实时量化评估灭火成效。若发现仍存在残余火源或火势复燃迹象，系统将自动生成反馈信息，快速传输至地面指挥中心与智能决策系统。智能决策系统据此迅速调整扑救策略，如调度附近无人机再次执行扑救任务或重新规划后续扑救方案，形成“扑救 - 评估 - 反馈 - 再扑救”的闭环流程，持续提升森林火灾

扑救的精准性与有效性。

三、技术研发面临的挑战与应对策略

(一) 能源与续航问题

无人机的能源主要依赖电池，而电池的能量密度有限，导致无人机续航时间较短，难以满足长时间的森林火灾监测与扑救需求。为了解决这一问题，一方面，研发新型电池技术，如固态电池、氢燃料电池等，提高电池的能量密度和续航能力；另一方面，探索无人机的无线充电技术，在森林中设置无线充电基站，使无人机在飞行过程中能够进行无线充电，延长续航时间。此外，还可以采用多机轮换作业的方式，提高无人机的使用效率。

(二) 复杂环境适应性

森林环境复杂，存在地形起伏、树木遮挡、恶劣天气等因素，给无人机的飞行和监测带来了很大挑战。为了提高无人机在复杂环境下的适应性，采用先进的避障技术，如激光雷达、超声波传感器等，使无人机能够实时感知周围环境，自动避开障碍物。^[5]同时，优化无人机的飞行控制算法，提高其在大风、降雨等恶劣天气条件下的飞行稳定性。此外，加强无人机的防护设计，提高其抗摔、防水、防尘等性能。

(三) 数据处理与分析能力

无人机在监测过程中会产生大量的数据，如高清图像、视频、传感器数据等，对这些数据的快速处理和准确分析是实现协同监测与精准扑救的关键。为了提高数据处理与分析能力，采用高性能的处理器和数据处理算法，对数据进行实时处理和分析。利用云计算和边缘计算技术，将部分数据处理任务卸载到云端或边缘设备上，减轻无人机的计算负担。同时，加强数据管理和存储，建立数据仓库和数据库，方便数据的查询和检索。

(四) 通信稳定性问题

森林区域地势复杂，信号容易受到山体、茂密植被等阻挡而减弱或中断，这对无人机与地面控制站之间的通信稳定性造成极大影响。一旦通信中断，无人机可能失去控制，无法及时回传关键数据，严重影响监测与扑救任务的开展。应对此挑战，一方面，选用抗干扰能力强的通信频段，并采用自适应调制解调技术，根据信号强度和干扰情况自动调整通信参数，确保通信链路的稳定。另一方面，构建多链路通信冗余系统，结合卫星通信、4G/5G 通信以及自组网通信技术，当某一通信链路出现故障时，能迅速切换至其他可用链路，保障数据传输的连续性。此外，在森林中合理部署通信中继节点，增强信号覆盖范围，优化信号传输质量。

四、结束语

森林火灾无人机协同监测与精准扑救技术的研发，为森林火灾防控提供了新的技术手段和解决方案。通过多机通信与协作机制、传感器融合技术、路径规划与自主导航技术等协同监测技术，以及智能决策系统、高效灭火装置集成、通信与指挥系统优化等精准扑救技术的研发和应用，有望实现对森林火灾的快速监测、准确预警和高效扑救。

然而，目前该技术仍面临能源与续航、复杂环境适应性、数据处理与分析能力等诸多挑战。未来，需要进一步加强相关技术的研发和创新，突破技术瓶颈，提高无人机在森林火灾防控中的应用水平。同时，还应加强与其他相关领域的交叉融合，如人工智能、大数据、物联网等，推动森林火灾防控技术的智能化、信息化发展，为保护森林资源、维护生态平衡做出更大的贡献。

参考文献

- [1] 杨敬, 王馐, 吴鑫. 基于遥感和物联网技术的森林火灾协同监测体系建立 [J]. 湖南林业科技, 2017, 44(2):6.
- [2] 马宏伟, 胡坤, 李宁, 等. 基于无人机和机器人陆天一体化的物联网森林火灾监测预警灭火系统设计 [J]. 计算机科学与应用, 2021, 11(5):4.
- [3] 谈文伟. 无人机技术在森林火灾监测与预防中的应用研究 [J]. 消防界 (电子版), 2024, 10(24):39-41.
- [4] 钟懿, 齐洁. 面向森林火灾搜救的无人机集群异构任务分配方法 [C]//2023第七届全国集群智能与协同控制大会论文集. 2023.
- [5] 陈昶宇, 钟琪, 许正豪, 等. 智能消防机器人与无人机协同系统 [J]. 科学与信息化, 2022(009):000.