

无人机在森林防灭火工作中的应用

何苏博 杨升平 肖卓 唐灵

(湖南汽车工程职业学院, 湖南 株洲 412000)

摘要:在我国自然资源管理中,森林防火工作占据着重要地位。如何运用好先进无人机技术,科学开展火灾侦查和救援工作,推动森林防火事业与森林资源向好发展,成为我国森林消防管理工作创新的重要问题。本文从消防救援、消防安全、防灭火、成本投入入手,阐述无人机在森林防灭火工作中的应用价值,利用 Mesh 网络,仿真模拟一种多机型无人机集群协同灭火系统,提出此系统实现的关键技术,并围绕巡查、侦查、指挥、救援,探讨无人机在森林防灭火工作中的应用,展望无人机在森林防灭火领域的发展趋势。

关键词:无人机;森林防灭火;应用

森林生态系统具有极强开放性,一旦出现火情,就会威胁整个区域内林木资源。森林火灾具有一定突发性,尤其是植被丰富和草灌茂密区域,起火风险高,且灭火难度大,这就需要相关部门做好森林防火和灭火工作。无人机搭载了远程操控系统和设备,伴随无人机技术发展,其凭借操作方便、功能齐全、体积小等优势,能辅助森林防火工作开展,如野外火源监控。森林防火巡护、森林火灾扑救等,构建一套多机型无人机协同防灭火协同,推广消防无人机具有极强实践意义。

一、无人机在森林防灭火工作中的应用价值

(一)救援即时性强

森林地区覆盖了类型多样、数量巨大的植物资源,这些资源属于易燃物。若森林出现火情,就会迅速蔓延,要想完成森林安全防火抢险和救灾工作,救出被困森林的人员。技术人员可将生命探测仪装载在无人机上,采用低空飞行的方式,迅速定位被困人员,投掷救生绳、呼吸罩、急救药品等应急物,将火情与被困人员地理位置上传到信息平台,便于消防部门及时开展救援工作。

(二)安全性指数高

森林火灾具有较大的危害性,由于影响森林火灾的外部因素较多,尤其是天气、风向因素和植被类型等因素,一线消防人员面临较大安全风险。再加上森林区域地势多变,消防人员很难找到合适的观察位置,无法精准判断火灾形势。而无人机恰好能够解决这一问题,可直接在空中拍摄实际情况,再以摄影机模块与通信模块,向消防队伍传送实际情况图,便于消防部门制定灭火方案。

(三)防灭火效率高

在过去森林防火和灭火救援工作中,消防人员肩负着重要责任,需要排查潜在火灾隐患,一旦出现火灾事故,就需要进入现场开展救火和救人工作。但在地形复杂的林区,人力往往很难及时抵达,而通过应用无人机技术,技术人员快速巡查森林火情,及时发现火点位置、坐标和范围,安排无人机群,开展灭火救援工作,提高防火灭火效率。

(四)减少成本投入

在以往森林防灭火工作中,由于森林面积广阔,管理部门需要将大量物力和人力资源投入防火工作中,耗费成本较高。而通过应用无人机技术,管理人员能够构建无人机防火监测和协同灭火体系,调动无人机开展大批量防火监测与灭火工作,既能够提高防火巡查全面性,又能节约防灭火人力和物力成本,极具推广价值。

二、一种多机型无人机集群协同灭火系统

森林防火灭火工作复杂性和挑战性极强。目前,国内已出现了携带单兵灭火设备的消防无人机,但单一机型在续航、载重方面存在不足,任务执行能力不强,急需形成消防无人机编队,提高灭火效率。目前,国内外已出现成熟的无人机编队技术,为科学组合多种类型无人机奠定了理论基础,但在多机协同上尚存在组网能力弱

的技术问题。下面,提出一种多机型无人机集群协同灭火方案。

(一)基于 Mesh 网络的多机型无人机集群组网模拟仿真

秉持安全、高效和智能原则,设计人员制定森林火灾灾灭一体化协同灭火方案,该方案在 3 小时内无需重新组网和测试,保持协同灭火状态,满足森林火灾预防和灭火工作需求,适用于 80% 以上的森林防灭火任务场景。在模拟仿真环节,设计人员使用 OPNET 建立 MESH 网络,包含前线指挥部、后方指挥中心、多旋翼灭火无人机、中低空多旋翼侦察定位无人机、高空固定翼通信中继无人机、高空固定翼侦察无人机。首先,在同一个网络中,设计人员模拟了前后方指挥中心与 48 架次多机型集群组网,明确所需的网络性能指标,选择学生呢通过分析通信协议转换与通信组网性能之间的关系。第二步,设计人员选择 1min20s、2min40s、3min50s 三个时间节点,观察 node3、node15、node39 的干扰源,发现单载波干扰源、宽带干扰源不会破坏数据包,相关频段可正常接受全网广播报文。第三步,结合现实需求,优化通信协议,确保每单一节点吞吐量在 11Mbps 以上,通信整体延时低于 150ms,契合实际需求。

(二)多机型无人机通用通信控制协议

设计人员转换多机型通信控制协议,单独设置模块,为后续修改和匹配打下基础。在整个地面站控制系统中,设计人员经过调整后,可采用同一通信协议,集中控制多机型,并设置多机高并发数据处理功能。在 Mesh 网络中,为实现指挥中心与多机型无人机通信目标,设计人员设置任务创建、任务分配和信息交互功能,确保各机型无人机之间数据互通、相互配合。

(三)多旋翼多机协同灭火系统构建

消防工作对无人机技术实用性要求较高,单一机型和设备很难满足森林防灭火需求。当前,在相同机型的无人机群领域,编队、通信和控制技术相对成熟。不同无人机类型功能特点存在差异,如旋翼无人机可悬停,拥有适中的载重量,但续航时间较短;固定翼无人机适用于全局空中监视和远距离连续工作,载重量较大,拥有较长续航时间。对此,设计人员结合森林防灭火实际需求,研发具有森林巡检与林火灾灭功能的协同灭火系统,使用多旋翼灭火无人机、多旋翼中低空侦察无人机、固定翼通信中继无人机、固定翼高空侦察无人机,组建无人机协同灭火集群编队,建立协同灭火系统。在系统运行中,中高空垂起侦察无人机负责确认起火点,在收到起火预警后,后方指挥中心即可开启应急响应机制,建立前线指挥部,前线指挥人员安排灭火多旋翼整机系统(含多旋翼侦察定位无人机和灭火无人机系统)去赶往起火点,精准定位和识别火场情况,协同完成防灭火任务。

三、多机型无人机集群协同灭火系统的关键技术

在多机型无人机集群协同灭火协同实验上,设计人员依托校企合作平台,借助成熟稳定的产品,研究协同灭火系统的实现技术。

（一）多类型无人机协同作业技术

在校企合作产品的支持下，设计人员采用相同控制通信协议，建立跨机型协同关系，并借助近高空垂起与多旋翼无人机的双光设备，辅助跨机型定位视觉目标，高精度定位火翼、火尾、火头，实时判断火情类型，如地下火、林冠火、地表火等，为无人机协同灭火提供技术支持。在森林空域，设计人员可发挥高空侦察无人机作用，主要确认火情类型和整体火翼，借助多旋翼低空侦察无人机的红外视觉功能，二次精准定位火焰头部和尾部。基于 MESH 自组网系统，设计人员利用前后指挥部，汇总所有数据，发挥后方算力，制定协同灭火任务方案，合理调用多机组编无人机，迅速前方着火点，完成协同灭火任务，整体方案具有一定可行性和实用性。

（二）多类型无人机编组地面控制技术

在民用市场中，无人机编队被广泛应用于表演活动中，编组架次可达 3000 架次，形成了较为可靠成熟的技术。在校企合作单位上，设计人员选择无人机编队领域的龙头企业，借助企业沉淀和经验，研究地面控制技术。在跨机型多机组编上，设计人员主要选择垂起和旋翼两类机型，从功能上角度看，主要有灭火、低空侦查、高空侦查组网、中继机型。在航线规划和飞行方式上，设计人员结合复杂的应用需求，制定多样化的设计方案，结合不同机型特点，划分对应区域和飞行高度，帮助地面人员快速规划多机多任务飞行航线，避免各条航线之间相互影响。

（三）多类型无人机 MESH 自组网

在确定统一的控制通信协议后，为保证系统性能，设计人员统一设计通信网络。在多机组编时，若依靠现有通信网络，设计很难实现直接共享多机影像数据，无法融合相关数据。于是，设计人员利用各机载端，完成数据预处理工作，采用全网通信的方式，传递预处理结果信息，提高信息传递的即时性和可靠性。在确定组网方式后，人员使用 OPNET 网络仿真分析工具，构建基于作业无人机、组网无人机和中继无人机的三级网络，分析 MESH 的自动组网能力，验证系统链路的接入响应速度、延时性和可靠性，且支持在后续实践中继续改良。

四、无人机在森林防灭火工作的应用

（一）巡查与管理野外火源

无人机操作灵活性强、续航能力强，适用于野外火源管理与森林日常巡查工作。在大面积森林防火巡查工作中，相较于地面巡查和监测方式，无人机可巡查广泛的区域，尤其是人车无法抵达的地区，凭借快速应急能力，无人机可随时监测。当前，一些消防无人机加载了全球定位系统、高清透雾摄像机，操作人员只需要规划航线，将参数提前输入无人机中，无人机就能按照预定路线完成巡查工作，全方位、多角度地监测沿途情况，智能识别和锁定可疑火点，管理人员的工作负担大大降低。

（二）实时侦查森林火情

在森林环境中，一旦发生火灾，就会形成不同程度烟雾，给人员监控火情带来困难。借助无人机技术，人员可利用高清摄像设备，持续性地监控火情变化，快速了解无人机拍摄回传的影像数据，并结合数据，迅速部署灭火无人机和消防人员。无人机往往搭载了红外热像仪设备，可随时勘察森林火灾的暗火，向地面指挥站发送预警信息，避免出现复燃现象，为火灾救援提供参考。

（三）远程指挥与通信

森林拥有复杂的地理环境，一些地区山高林密，影响了信号传递。当前，无人机搭载了远程通信技术，可保持通畅的通信线路，迅速传递火情信息。在特定森林火灾救援环境下，技术人员可利用指挥系统，远程指挥无人机编队，开展协同灭火工作。

（四）参与防灭火应急救援

在气候环境和地理条件复杂的区域，无人机可胜任监测火情和火灾的工作。当前，无人机可搭载航拍测绘模块，可在空中绘制地形图，为地面人员开展灭火救援工作创造条件。尤其是在火灾失控情况下，无人机凭借语音模块，向地面救援人员传递信息，通知相关人员改变疏散路线，撤离危险区域。拥有较强负重功能的无人机，可与其他无人机配合，将灭火剂和水直接泼洒在起火点，避免森林火情蔓延。

五、无人机在森林防灭火工作中的应用发展趋势

（一）提高无人机防灭火实战性能

在未来森林防火领域，无人机应具备更强的实战能力，更好地参与森林防火和火灾救援任务。首先，相关人员应提高无人机协同作战水平，结合各地区森林火灾特点，组建多机型无人机编队，并开展无人机智能化方面研究，将 AI 技术、云计算与大数据运用在无人机上，配合开展人员搜索、火情监测、灭火救援工作，提高无人机响应速度和反应能力。其次，技术人员要不断研发适用于消防无人机的监测装置和灭火设备，如彩色数字摄影仪、红外热成像仪，提高无人机监测火场、获取火灾数据的能力。涉及夜间灭火工作需求，人员应合理升级无人机光照系统，支持无人机在复杂的森林环境，参与灭火救援工作。

（二）健全无人机森林消防管理制度

在森林防火领域，相关人员应制定无人机管理制度，如无人机技术研发和使用准则、消防无人机发展规划、消防无人机日常应用管理制度，明确消防无人机适应工作环境和要求。在森林出现火灾后，操作人员应遵循制度要求，迅速响应、申请空域、布控无人机编队，充分发挥无人机防火和灭火救援优势。在消防部门，相关人员可专门组建无人机管理、操控部门，引入先进指挥系统和组网技术，利用无人机编队，提升灭火救援效率，并制定消防无人机型号、技术引入标准，完善维护保养准则，切实满足森林防灭火实战需求。

（三）全面升级消防无人机材质

森林区域布满杂草树木，火势通常较为猛烈，要求无人机材料具备耐高温特性。在设计消防无人机时，相关人员应引入先进耐高温防火材料，将这些材料涂抹在机体关键位置，如玻璃纤维、耐高温漆、金属铝箔等，并提高软硬件系统的耐磨损能力，适应森林防灭火工作需求。

（四）大力推广消防无人机

未来，消防部门应建立无人机森林防灭火试点，联合林业部门开展无人机培训工作，大力培养无人机操作和维护人员，积极引入和推广无人机防灭火技术，并在实践中完善消防无人机运用管理体系。

六、结束语

综上所述，近年来，无人机技术被广泛应用在气象、农业、电力领域。在森林消防领域，相关人员应顺应无人机智能化发展趋势，正确认识无人机技术在森林防灭火工作中的地位，大力推广无人机技术和无人机集群协同灭火系统，利用远程指挥系统和基地，远程操控无人机及编队，加强日常巡查，充分做到防患于未然，发挥无人机在火灾救援中的作用，监测和控制火灾，提高灭火救援效率。

参考文献：

- [1] 夏睿. 无人机在森林灭火救援中的应用探索 [J]. 中国应急管理, 2023 (02): 52-53.
- [2] 张文兵. 消防无人机在森林防灭火中的应用研究 [J]. 森林防火, 2022, 40 (01): 93-97.

本文系湖南省教育厅青年项目，课题名称：基于 MESH 的多机型无人机集群协同森林灭火研究（项目编号 21B0885）的成果。