

# 应急管理“空天地”一体化关键技术研究与应用

廖彧歆

重庆移通学院

DOI:10.32629/etd.v6i12.19223

**[摘要]** 随着灾害频发与应急需求升级,应急管理“空天地”一体化技术成为破解传统应急体系覆盖盲区、响应滞后等难题的核心路径。本文聚焦应急管理“空天地”一体化关键技术研究与应用。首先阐述其概念内涵与架构组成,接着深入剖析卫星通信、无人机通信、天地空基通信融合以及数据融合与智能处理等关键技术。最后,规划在自然灾害应急响应、事故灾难救援、公共卫生事件防控和社会安全事件处置等场景的示范应用。旨在通过“空天地”一体化技术,提升应急管理的响应速度与处置能力,为保障社会安全稳定提供有力技术支持与实践参考。

**[关键词]** 应急管理; 空天地一体化; 关键技术; 示范应用

中图分类号: X93 文献标识码: A

## Research and Demonstration Application of Key Technologies for “Space-Air-Ground” Integration in Emergency Management

Yuxin Liao

Chongqing College of Mobile Communication

**[Abstract]** With the frequent occurrence of disasters and the upgrading of emergency demands, the “space-air-ground” integrated technology for emergency management has become the core path to solve the problems of coverage blind spots and response lag in traditional emergency systems. This paper focuses on the research and demonstration application of key technologies for “space-air-ground” integration in emergency management. It first expounds the concept connotation and architectural composition, then deeply analyzes key technologies such as satellite communication, unmanned aerial vehicle communication, space-air-ground base communication integration, and data fusion and intelligent processing. Finally, it plans demonstration applications in scenarios such as natural disaster emergency response, accident disaster rescue, public health event prevention and control, and social security incident handling. The aim is to improve the response speed and handling capability of emergency management through “space-air-ground” integrated technology, providing strong technical support and practical reference for ensuring social safety and stability.

**[Key words]** emergency management; space-air-ground integration; key technologies; demonstration application

### 引言

在社会快速发展进程中,各类突发事件频发,给人民生命财产安全和社会稳定带来严重威胁,应急管理的重要性日益凸显。传统应急管理模式在应对复杂多变的突发事件时,存在信息获取不及时、覆盖范围有限、协同效率不高等问题。“空天地”一体化应急管理模式应运而生,它整合天空、空中、地面多维度资源,借助先进通信与数据处理技术,实现全方位、高效能的应急管理。文章将深入探讨其关键技术,并规划示范应用场景,为推动应急管理现代化发展提供有益探索。

### 1 应急管理“空天地”一体化概述

#### 1.1 概念内涵

应急管理“空天地”一体化是指通过整合天基(卫星通信系统)、空基(无人机等高空平台)和地基(地面通信网络、传感器等)资源,构建一个三维立体的应急管理网络体系。该体系旨在突破传统应急管理模式在地理覆盖、信息获取、协同响应等方面的局限性,实现全球范围内无缝覆盖、全天候实时监测、多维度数据融合与智能决策支持。其核心在于通过卫星通信的广域覆盖能力、无人机的灵活部署能力以及地面网络的精准感知能力,形成优势互补、高效协同的应急响应机制。这种模式不仅适用于自然灾害、事故灾难等突发事件的应急处置,还能为公

共卫生事件防控、社会安全事件处置等场景提供技术支撑,推动应急管理向“主动预警、智能决策、精准处置”的现代化方向转型<sup>[1]</sup>。

### 1.2 架构组成

应急管理“空天地”一体化架构由感知层、通信层、数据层和应用层四部分构成。感知层是体系的基础,涵盖卫星遥感、无人机搭载的多光谱传感器、地面物联网设备等,负责实时采集灾害现场的图像、视频、气象、地质等多元数据。通信层通过卫星通信网络(如低轨卫星星座)、无人机中继通信、地面5G/专网等,实现感知数据的实时回传与指挥指令的快速下达,确保在极端环境下(如地震断网、洪水断路)仍能保持通信畅通。数据层依托云计算、大数据技术,对海量异构数据进行清洗、融合与智能分析,构建灾害风险评估模型与应急决策知识库。应用层则面向具体场景开发智能应用,如灾害预警系统、救援资源调度平台、灾情态势感知系统等,为应急指挥提供可视化、精准化的决策支持,最终形成“感知-传输-分析-决策”的闭环管理体系。

## 2 应急管理“空天地”一体化关键技术

### 2.1 卫星通信技术

卫星通信技术是应急管理“空天地”一体化的核心支撑,其通过天基卫星星座实现全球无缝覆盖与稳定通信,尤其在地面网络受损时发挥不可替代的作用。低轨卫星(LEO)凭借较低轨道高度,具备低时延、高带宽特性,如中国星网计划部署的1.2万颗低轨卫星,可提供全球互联网服务;中高轨卫星(MEO/GEO)则通过星座组网实现广域覆盖,如“天通一号”卫星移动通信系统已支持手机直连卫星,显著提升偏远区域及灾害现场的通信能力。卫星通信的关键技术包括星间链路、卫星天线及智能处理芯片等。星间链路技术通过多星协同传输扩大覆盖范围并提升通信效率;高性能卫星天线可增强信号强度与抗干扰能力;星上智能处理芯片则支持数据实时处理,减少地面回传延迟。此外,高通量卫星(HTS)的应用使卫星通信容量实现量级跃升,为高清视频传输、工业物联网等场景提供高速通道,为应急指挥调度、灾情实时回传等提供可靠保障。

### 2.2 无人机通信技术

无人机通信技术是应急管理“空天地”一体化中实现灵活部署与动态覆盖的关键环节。其依托无人机平台搭载的通信中继设备,可快速构建临时通信网络,填补地面基站损毁或信号盲区的空白。无人机通信具备机动性强、覆盖范围可调、部署速度快等优势,能够在地震、洪水等灾害发生后迅速升空,为受灾区域提供语音、数据及视频传输服务,支撑应急指挥与救援行动。技术层面,无人机通信涵盖视距通信(LOS)与超视距通信(BLOS)两大类。视距通信通过无线链路直接连接地面终端,适用于短距离、低延迟场景;超视距通信则借助卫星或中继无人机实现远距离传输,扩展覆盖范围。此外,无人机集群通信技术通过多机协同组网,可进一步提升网络容量与可靠性。为适应复杂环境,无人机通信还集成了自适应调制编码、智能天线阵列等技术,增强抗干扰能力与信号稳定性,确保在恶劣天气或强电磁干

扰下仍能维持通信畅通,为应急管理提供实时、可靠的空中通信支撑<sup>[2]</sup>。

### 2.3 地面通信网络与天基、空基通信的融合技术

地面通信网络与天基、空基通信的融合技术是应急管理“空天地”一体化实现无缝覆盖与高效协同的核心。该技术通过协议适配、频谱共享与智能路由等手段,打破地面网络(如5G、专网)与卫星、无人机通信之间的壁垒,构建多层次、立体化的应急通信体系。在技术实现上,融合技术采用软件定义网络(SDN)与网络功能虚拟化(NFV),动态分配频谱资源并优化传输路径,确保在灾害现场地面基站受损时,能快速切换至卫星或无人机中继链路,维持通信连续性。同时,边缘计算节点的部署使数据可在本地预处理,减少回传延迟,提升实时响应能力。此外,跨层协议栈设计统一了不同通信系统的接口标准,支持终端设备在多网络间无缝切换。融合技术的应用显著提升了应急场景下的通信可靠性,例如在地震救援中,地面网络与卫星通信的互补可确保灾区内外信息互通;在森林火灾监测中,无人机与地面传感器协同传输,实现火情动态跟踪与资源精准调度,为应急指挥提供全域、实时的决策支持。

### 2.4 数据融合与智能处理技术

数据融合与智能处理技术是应急管理“空天地”一体化实现精准决策与高效响应的核心支撑。该技术通过整合卫星遥感、无人机监测、地面传感器等多源异构数据,消除信息孤岛,形成全面、准确的灾害态势图。其关键在于跨模态数据对齐与语义理解,例如将卫星图像的光谱特征、无人机的三维建模数据与地面物联网的实时监测指标进行时空关联,构建多维度数据模型。智能处理层面,技术融合了深度学习、知识图谱与边缘计算:深度学习算法可自动识别灾害特征(如洪水淹没范围、火灾热源分布);知识图谱通过关联应急预案、历史案例与实时数据,提供智能决策推荐;边缘计算节点则实现数据本地化预处理,降低传输延迟,提升响应速度。例如,在地震应急中,系统可快速融合震感数据、建筑损伤图像与人口分布信息,生成优先级救援路线;在公共卫生事件中,通过融合人员流动轨迹、医疗资源分布与疫情传播模型,动态优化防控策略,为应急指挥提供科学、实时的决策依据。

## 3 应急管理“空天地”一体化示范应用场景规划

### 3.1 自然灾害应急响应

在自然灾害应急响应场景中,应急管理“空天地”一体化体系发挥着全方位、高时效的关键作用。灾害发生前,卫星遥感可对地震带、火山活动区、洪涝易发地带等进行长期监测,通过分析地表形变、气象数据等,提前预警潜在灾害风险。灾害发生瞬间,卫星通信迅速启动,保障受灾区域与外界的通信畅通,及时传递灾情信息。无人机第一时间升空,利用其灵活机动的优势,快速抵达受灾核心区域,进行灾情侦察,实时回传高清图像与视频,精准定位受困人员位置、评估建筑损毁程度。地面通信网络与天基、空基通信融合,确保救援队伍内部及与指挥中心的稳定联络。数据融合与智能处理技术对各类数据进行整合分析,生成

灾害态势三维模型,辅助指挥人员制定科学救援方案,合理调配救援资源。例如在地震救援中,能快速确定救援优先级区域;洪水救援时,可规划最佳疏散路线,提升自然灾害应急响应的效率与精准度,最大程度减少灾害损失<sup>[3]</sup>。

### 3.2 事故灾难救援

在事故灾难救援场景中,应急管理“空天地”一体化体系展现出强大的协同作战与快速响应能力。事故发生后,卫星通信第一时间搭建起应急通信链路,即便事故现场地面通信设施严重损毁,也能保障救援指挥中心与现场的稳定联络,确保指令及时传达。无人机迅速起飞,凭借其灵活性和高空视角,对事故现场进行全方位侦察。在化工泄漏事故中,无人机可搭载气体检测设备,精准定位泄漏源,实时监测有害气体扩散范围;在交通事故救援里,能快速勘查事故现场地形、车辆受损及人员被困情况,为救援方案制定提供直观依据。地面通信网络与天基、空基通信融合,实现救援现场多部门、多救援力量间的信息共享与协同作业。数据融合与智能处理技术对现场各类数据进行整合分析,生成可视化救援态势图,辅助指挥人员科学调度救援资源,合理规划救援路线,提高救援效率,降低事故灾难造成的人员伤亡和财产损失。

### 3.3 公共卫生事件防控

在公共卫生事件防控场景中,应急管理“空天地”一体化体系构建起全方位、多层次的防控网络,为精准防控提供有力支撑。卫星遥感技术可对城市人口密度、人员流动趋势进行宏观监测,通过分析热红外数据等,及时发现人员聚集异常区域,为疫情风险评估提供宏观数据。无人机则凭借其灵活机动的特点,在疫情重点区域执行空中巡查任务,实时监测人员聚集、口罩佩戴等情况,还能对隔离区域进行喊话宣传,提醒居民遵守防控规定。地面通信网络与天基、空基通信融合,保障了疫情防控期间信息的高效传递。社区、医院等基层防控单元通过稳定的通信网络,及时上报疫情数据、物资需求等信息;指挥中心可实时掌握全局动态,精准调配医疗资源、生活物资。数据融合与智能处理技术对多源数据进行深度挖掘。整合人员流动轨迹、医疗检测数据、环境监测信息等,构建疫情传播模型,预测疫情发展趋势,辅助制定差异化防控策略。

### 3.4 社会安全事件处置

在社会安全事件处置场景中,应急管理“空天地”一体化体

系发挥着至关重要的实时监测、快速响应与精准指挥作用。卫星通信凭借其广域覆盖优势,能实时传输大规模人群聚集、重点区域动态等宏观信息至指挥中心,为事件态势研判提供基础数据。例如在大型活动安保中,卫星可监测活动现场及周边人流密度变化,提前预警潜在拥挤踩踏风险<sup>[4]</sup>。无人机可迅速抵达事件现场上空,利用高清摄像、热成像等技术,实时获取现场细节画面,精准定位暴力冲突点、危险物品位置等关键信息。在反恐行动中,无人机能隐蔽侦察,为特警制定突击方案提供情报支持。地面通信网络与天基、空基通信融合,确保现场执法人员、各应急小组间通信畅通,实现指令快速下达与信息实时共享。数据融合与智能处理技术对卫星、无人机及地面传感器采集的数据进行整合分析,生成事件态势三维模型,辅助指挥人员制定科学处置策略,合理调配警力、消防等资源。通过该体系,可提升社会安全事件处置的及时性、精准性,有效维护社会秩序与公共安全<sup>[5]</sup>。

## 4 结束语

应急管理“空天地”一体化关键技术研究与应用,是顺应时代发展、提升应急能力的关键举措。通过卫星通信、无人机通信、多网络融合以及数据智能处理等技术的深度融合,构建起全方位、立体化的应急管理体系。在自然灾害、事故灾难、公共卫生及社会安全等各类场景的示范应用中,已展现出强大效能与巨大潜力。未来,随着技术持续创新与完善,该体系将进一步优化升级,为应急管理提供更精准、高效、智能的支撑,更好地守护人民生命财产安全,维护社会稳定与和谐发展。

## [参考文献]

- [1]许强,董秀军,李为乐.基于天-空-地一体化的重大地质灾害隐患早期识别与监测预警[J].武汉大学学报(信息科学版),2022,44(7):957-966.
- [2]汪春霆,翟立君,徐晓帆.天地一体化信息网络发展与展望[J].无线电通信技术,2020,46(5):493-504.
- [3]赵晶,虞志刚,严晓云.通导遥一体化的应急信息支撑体系架构研究[J].无线电通信技术,2024,50(6):1067-1074.
- [4]张鸿,廖彧歆,王汝言,等.面向密集场景的空天地网络资源分配算法[J].电子与信息学报,2024,46(5):1968-1976.
- [5]郑作亚,薛庆昊,仇林遥,等.基于网络信息体系思维的天地一体通导遥融合应用探讨[J].中国电子科学研究院学报,2020,15(8):709-714.