

# 升空中继通信系统研究

郎为民<sup>1</sup>, 田尚保<sup>2</sup>, 李宇鸽<sup>1</sup>, 邹 力<sup>1</sup>, 王振义<sup>1</sup>

(1. 国防科技大学信息通信学院, 湖北省武汉市 430010;

2. 新疆军区 69036 部队, 新疆维吾尔自治区巴音郭楞蒙古自治州 841000)

**摘 要** 升空中继通信系统可提供复杂地形环境、中远距离、动中通、无信息基础设施或信息基础设施严重受损等特殊情况下的通信中继转发,在应急通信和军事通信领域有着广泛的应用。文章给出升空中继通信系统的基本概念,描述升空中继通信系统的分类方法,说明升空中继通信系统的构成要素,分析升空中继通信系统空中无人机基站、无人机中继通信和系留无人机中继通信三种典型运用模式。

**关键词** 升空中继; 中继通信系统; 无人机; 典型运用

## 0 引言

我国是个自然灾害频发的国家。自然灾害以地震、洪涝、风雹、干旱、台风和雪灾为主,仅 2021 年各种自然灾害就造成 1.07 亿人次受灾,直接经济损失 3340.2 亿元。当特大自然灾害发生时,地面基础设施通常会遭受灭顶之灾,电力和交通陷入瘫痪状态,通信基站“停摆”甚至倒塌,光缆遭受破坏,地面通信被迫中断,且短时间内难以恢复。例如,2021 年 7 月 17 日至 23 日,在河南省历史罕见的严重洪涝灾害中,全省累计退服基站 6.93 万个,受损光缆 3359 条,3500 km,影响固定网用户数 32.6 万户、移动网用户数 97.7 万户。抢险救灾的关键是要保持信息畅通,应急通信是应急指挥的眼睛、耳朵和大脑,是应急救援的生命线。

应急通信是指在重要节假日、重要会议、大型比赛、重大活动以及自然灾害、事故灾难、公共卫生事

件、社会安全事件等紧急情况下,充分利用各种通信资源和通信设备,提供网络应急支撑、战备应急通信、紧急救援支持所需的通信手段和方法<sup>[1]</sup>。应急通信应具有突发性、紧急性、不确定性、随机性、灵活性和安全性等特点。

应急通信的四种通信手段是卫星通信、短波无线电台、微波接力通信和集群通信。在交通瘫痪、气象条件恶劣和地理环境复杂的条件下,传统应急通信系统可能无法充分发挥效能,卫星通信车、程控交换车和微波通信车等进入现场的概率降低,进而导致通信保障和支援效果受到影响。卫星通信资源稀缺,成本昂贵,通信终端少。短波通信系统带宽窄、容量小,突发通信承载能力弱。微波接力通信绕射能力差,接力站之间只能进行视距通信,且当频率较高时自由空间传输损耗大。集群通信覆盖范围有限,组网受频率资源限制比较大。在这种情况下,升空中继通信应运而生。

## 1 系统分类

无人机升空中继通信系统(简称升空中继通信系统)是应急通信系统的重要组成部分。升空平台通过搭载实时信息分发或空中转信载荷,能够支撑信息实时分发,能够对信号进行中继,拓展通信覆盖范围,提升通信系统在重大活动、自然灾害、事故灾难、公共卫生事件和社会安全事件等紧急情况下的部署

基金项目:装备综合研究计划 2021 年度研究类项目“系留升空中继通信系统组织运用研究”,国防科技大学装备综合保障技术重点实验室基金项目“通信装备智能诊断与故障预测研究”,国家自然科学基金资助项目“节能无线认知传感器网络协同频谱感知安全研究”。

能力<sup>[2-3]</sup>。

升空中继通信是升空平台和地面站之间为达成通信目标而建立的数据链接,是延长、保障升空平台和地面站之间高速、准确、可靠的双向通信传输关键所在。升空中继通信系统的分类方法如图 1 所示。

按照应用领域,升空中继通信系统可分为军用升空中继通信系统与民用升空中继通信系统。按照平台构型,升空中继通信系统可分为固定翼无人机升空中继通信系统、无人直升机升空中继通信系统、多旋翼无人机升空中继通信系统和系留无人机升空中继通信系统。

2 系统构成

升空中继通信系统包括升空平台和地面站部分,采用双向通信方式。地面通信设备需与升空平台上装载的通信载荷联合工作,如图 2 所示。

2.1 升空平台

升空平台包括飞行平台、机载测控设备和通信

载荷。飞行平台使用的是重于空气的动力驱动航空器,包括固定翼飞行平台、旋翼飞行平台和无人直升机。固定翼飞行平台是指由机体上的固定机翼产生升力、由动力装置产生推动飞行器前进的推力或拉力,实现空中飞行的重于空气的航空器。旋翼飞行平台是指由动力装置产生推动飞行器前进的推力或拉力、由一副或多副旋翼与空气进行相对运动的反作用产生升力,实现在大气层内飞行的重于空气的航空器。无人直升机是指由无线电地面遥控飞行或自主控制飞行的垂直起降不载人飞行器,在功能上属于垂直起降飞行器,在构造形式上属于旋翼飞行器。机载测控设备主要与地面站进行数据交互,对机载测控设备的物理接口、通信协议进行规划。通信载荷为多信道通信设备,可配置为无线电台或移动通信设备,主要用于支撑信息分发或转发,可根据实际需要、设备特性和工作能力等进行选配。

2.2 地面站

地面站包括地面测控设备、地面通信设备和运

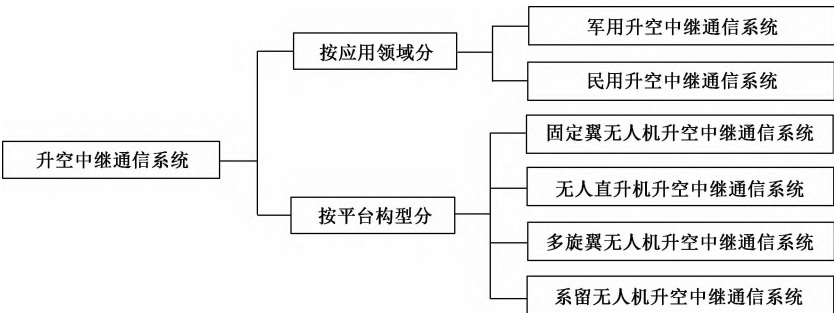


图 1 升空中继通信系统的分类方法

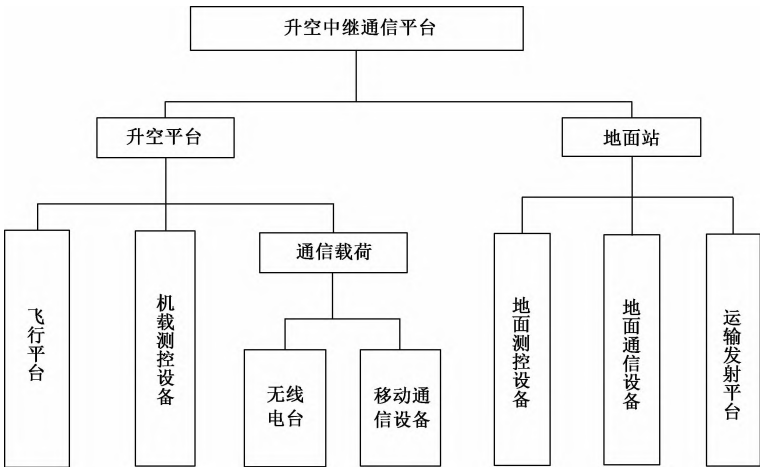


图 2 升空中继通信系统构成

输发射平台。地面测控设备具备遥控/遥测数据传输、飞行管理、航迹规划、无人机跟踪定位和信息预处理等功能,可实时监控无人机飞行过程、飞行航迹、通信载荷和信息链路。地面通信设备通常为无线电台或移动终端设备,用于与升空平台搭载的通信载荷进行通信,完成信息分发或转发。运输发射平台是指将无人机运输至指定地点,并能够实现现场快速展开和撤收的无人机运输发射装置。无人机的数据链路分为上行链路和下行链路。上行链路为遥控链路,即将地面站的指令信息发送给无人机。下行链路是遥测链路,即将无人机的遥测信息传输到地面站<sup>[4-5]</sup>。

### 3 典型运用

当通信双方被地面障碍物或地平线完全遮挡时,通信双方需借助超视距通信。超视距通信范围从几十千米到几百千米不等。目前超视距通信主要借助短波和卫星通信,但这两种超视距通信设备在部署时严重受限,且卫星通信易被干扰。在此背景下,升空中继通信被认为是实现超视距通信最有效措施之一。

升空中继通信系统的典型运用方法包括:一是组建信息分发网,实现经空中转信的信息分发,能满足分发时延敏感性信息的要求。二是组成数据和话音中继通信网,实现地面通信设备经由升空平台通信载荷的数据、话音中继通信,以克服地形对电台信号传播的影响,扩大无线电台或移动通信设备的有效通信范围。

升空中继通信系统的典型运用模式包括:一是由无人机充当空中宏基站,辅助移动网络完成通信过程;二是由固定翼无人机搭载无线电台、通信网关等设备,充当无线中继站;三是系留无人机搭载通信载荷,完成中继通信任务。

#### 3.1 空中无人机基站

随着经济发展和社会进步,全球移动网络覆盖需求持续增长。无人机与移动网络结合,可有效支持低成本、高移动性无人机通信,并可快速构建全新专用地面网络。在城市热点密集区域,当现有宏基站无法满足用户需求时,无人机可以快速覆盖热点并分担流量,且具有较高的灵活性,部署起来也非常便捷。

宏基站可为地面区域提供基本通信覆盖服务。当热点区域通信服务需求旺盛时,搭载宏基站的无人机可为地面宏基站提供高速数据、语音和视频覆盖。当城市热点区域用户设备密集导致流量过载时,搭载宏基站的无人机可充分发挥其通信流量卸载功能<sup>[6]</sup>。

相比于地面基站,无人机基站的环境变化适应能力更为强大。因此,可以将其部署在无信息基础设施或信息基础设施遭到破坏的区域,以提供紧急情况下的应急通信服务。山洪、地震、海啸、台风等重大自然灾害发生时,地面基站经常会遭到毁灭性破坏,灾区信息基础设施严重受损,导致正常通信无法进行,在不同程度上迟滞了救援行动进程。无人机基站的优点是不受灾区信息基础设施的限制,可以以无人机升空搭载基站的方式,迅速为灾区提供大范围的可靠通信。

2021 年 7 月 21 日,在国家应急管理部紧急调派之下,翼龙-2H 应急救援型无人机从贵州安顺机场起飞,火速赶往 120 0km 之外的河南省洪涝重灾区——巩义市米河镇。翼龙-2H 无人机在米河镇盘旋飞行 5 h,确保了 50 km<sup>2</sup> 范围内的连续通信覆盖。无人机空中基站累计接通 2572 个用户,单次最大接入 648 个用户,为灾区群众打通了应急通信的生命线。

翼龙-2H 无人机如图 3 所示,是成都飞机设计所为应急管理部量身定制的救灾型无人机,可全自主水平起降,具备巡航飞行能力,可挂载多种不同用途的电子吊舱,挂载基站时可定向恢复 50 km<sup>2</sup> 的移动公网通信,建立覆盖 15 000 km<sup>2</sup> 的音频和视频通信网络。针对灾区“三断(断路、断电、断网)”的实际情况,采用高点中继和融合空中组网技术,实现语音、数据和图像的上下贯通、横向互联。

#### 3.2 无人机中继通信

在远距离数据通信的场景中,由于旋翼无人机机载能力不足,通信载荷有限,难以搭载高频天线。因此,远距离数据通信可采用固定翼无人机升空中继通信系统。固定翼无人机主要包括机身、机翼、尾翼、起落架和发动机等。机身主要用于装载设备、燃料和武器等,是其他结构部件的安装基础,并连接成一个整体。机翼是固定翼无人机产生升力的部件。尾翼是用来配平、稳定和操纵固定翼飞行器飞行的部





图 3 翼龙-2H 应急救灾型无人机

件。起落架用于实现无人机现场快速展开和撤收。发动机用于为固定翼无人机提供动力。

2022 年 2 月 1 日,第一架升级为多智能配置的 MQ-4C“人鱼海神”无人机正式亮相美马里兰州帕图森特河海军航空站,代号为 B8,如图 4 所示。

MQ-4C“人鱼海神”无人机从陆基基地起飞,作战半径 3700 km,单架次飞行可侦察近 700 万平方千米的海域,可携带多种载荷与舰船、飞机协同执行通信中继和海上监视等任务。

2005 年,美空军启动由诺格公司联合多家公司研发的战场机载通信节点(BACN)项目。战场机载通信节点(BACN)由 RQ-4 无人机搭载全天候通信网关,升空后完成地面和空中作战平台之间语音、图像和视频的中继任务,进而提升平台之间的协同作战能力和单个节点的态势感知能力。MQ-4C“人鱼海神”无人机作为 RQ-4 无人机的改进型,在作战任务饱和以及舰载机数量有限的前提下,可搭载战场机载通信节点从陆基基地起飞,在作战海域上空,为空中作战平台、舰船和潜艇提供通信中继功能。

### 3.3 系留无人机中继通信

系留无人机彻底突破了普通无人机的续航限制,有效克服了普通无人机可靠性低、易受干扰等缺点,在应急通信领域有着广阔的应用前景。系留无人机升空中继通信系统具有使用成本低、起降环境要求低、开通时间短、部署轻便灵活、持续工作时间长等特点,能够实现几十千米范围内的宽带通信,在信息基础设施遭到破坏、重大自然灾害突发、环境条件特别恶劣时的应急通信能力优势明显<sup>[7-10]</sup>。

通常情况下,系留无人机升空中继通信系统由无人机、系留线缆和地面站构成,如图 5 所示。

2021 年 7 月 22 日,湖北机动通信局突击队员携带系留式无人机基站和背负式基站等应急装备到达米河镇,迅速利用 Ka 卫星便携站开通系留式空中无人机基站,覆盖范围达 50 km<sup>2</sup>,使米河镇灾区的通信全面恢复。7 月 24 日,携系留无人机空中平台的西安机动通信局应急分队到达郑州阜外华中心血管医院,通过系留式无人机和 Ka 便携小站接通通信信号,完成基站开通。



图 4 MQ-4C“人鱼海神”无人机



图 5 系留无人机中继通信系统的构成

### 参考文献

- 1 GB/T 40686-2021. 便携式宽带应急通信系统总体技术要求和测试方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- 2 周天敬, 陈岳承, 傅庆丰. 一种基于升空平台的图像中继传输系统设计[J]. 电子世界, 2018(11): 181-182.
- 3 华杰. OFDM 传输同步技术及其在升空无线中继网的应用研究[D]. 南京: 南京邮电大学, 2014.
- 4 穆罕默德·萨德拉伊. 无人机基本原理与系统设计[M]. 郎为民, 周彦, 等, 译. 北京: 人民邮电出版社, 2018.
- 5 黄智刚, 郑帅勇. 无人机通信与导航[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2020.
- 6 KISHK, M A, BADER A, ALOUINI M S. Aerial Base Station Deployment in 5G Cellular Networks using Tethered Drones: the Mobility and Endurance Trade-off [J]. IEEE Vehicular Technology Magazine, 2020, 15(4): 103-111.
- 7 郎为民, 邹力, 王振义, 等. 系留无人机通信系统部署问题研究[J]. 电信快报, 2021(11): 1-7.
- 8 郎为民, 裴云祥, 王振义, 等. 系留无人机应急通信系统研究[J]. 电信快报, 2021(9): 1-5.
- 9 罗伟喆, 丁文锐, 雷耀麟, 等. 系留无人机平台搭载的蜂窝通信微型基站或通信电台吞吐量优化[J]. 北京航空航天大学学报, 2021, 47(6): 1161-1172.
- 10 郎为民, 裴云祥, 邹力, 等. 系留升空中继通信系统研究[J]. 电信快报, 2021(7): 1-5.

## 4 结束语

升空中继通信系统是应急通信系统的重要组成部分, 在应急通信系统中占有非常重要的地位。升空中继通信系统可提供复杂地形环境、中远距离、动中通、无信息基础设施或信息基础设施严重受损等特殊情况下的通信中继转发。

郎为民(1976—), 男, 教授, 硕士生导师, 博士, 主要研究方向为未来网络、物联网、云计算和大数据。

收稿日期: 2022-02-08

## 下期要目预告

大数据处理技术研究  
OXC 光交叉技术的演进及其应用  
视频类 CDN 平台网络部署方式研究

消防救援大脑设计  
车载卫星站视频 UDP 编码资源池  
多路 Ka 频段上变频交调研究与验证