

文献引用格式: 代海刚. 5G 基站环境下固定翼无人机应急通信覆盖能力研究 [J]. 电声技术, 2022, 46(1): 113–116, 125.

DAI H G. Research on emergency communication coverage capability of fixed wing UAV In 5G base station environment [J]. Audio Engineering, 2022, 46(1): 113–116, 125.

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

DOI: 10.16311/j.audiee.2022.01.032

# 5G 基站环境下固定翼无人机应急通信覆盖能力研究

代海刚

(福建省邮电规划设计院有限公司, 福建 福州 350001)

**摘要:** 为了提高无人机应急通信覆盖能力, 在 5G 基站环境下, 选取固定翼无人机作为操控平台, 开发一套新型固定翼无人机应急通信系统。该系统以无人机平台为核心, 通过现网宏站、安全网关、机载基站传输信号, 实现信号回传, 在某范围内覆盖信号。测试结果显示, 本系统具有较强的应急通信覆盖能力, 支持大范围信号覆盖, 可以作为应急通信工具。

**关键词:** 5G; 通信覆盖能力; 固定翼无人机

## Research on Emergency Communication Coverage Capability of Fixed Wing UAV In 5G Base Station Environment

DAI Haigang

(Fujian Post&Telecom Planning-Designing Institute Co., Ltd., Fuzhou 350001, China)

**Abstract:** In order to improve the coverage of UAV emergency communication, a new set of fixed wing UAV emergency communication system is developed by selecting fixed wing UAV as the control platform under the environment of 5G base station. Taking the UAV platform as the core, the system transmits signals through the network macro station, security gateway, airborne base station and the current network macro station to realize signal return and cover the signals in a certain range. The test results show that the system has strong emergency communication coverage ability, supports a wide range of signal coverage, and can be used as an emergency communication tool.

**Keywords:** 5G; communication coverage capability; fixed wing UAV

## 0 引言

应急通信网络建设是未来几十年的重要研究任务, 需要考虑特殊环境下的干扰, 尽可能提高网络覆盖能力, 从而为应急事故提供可靠通信服务<sup>[1]</sup>。传统的通信网络虽然在稳定性和机动性两个方面做出了改进, 但是遇到极端场景, 天线投射面积会受到较大的限制, 由于覆盖面积较小, 所以不能满足大部分场所的应急通信需求。无人机技术的出现, 打破了传统通信服务模式<sup>[2]</sup>。该项技术主要使用无人机基站传输信息, 因基站具有较强的灵活性能, 所以应用前景较为广阔。另外, 5G 技术的产生, 为改善其配置空间创造了有利条件<sup>[3]</sup>。因此, 本文尝试运用 5G 网络, 构建固定翼无人机应急通信系统, 并对该系统的覆盖能力展开测试分析。

## 1 固定翼无人机应急通信系统

### 1.1 系统组网架构

本系统利用机载基站安全网关, 建立智能终端与互联网之间的通信连接, 实现了大面积通信网络覆盖。为了降低干扰, 本系统添加了宏站结构和 SP-GW 装置, 形成了终端用户面路径和机载基站 IPSec 路径。系统组网架构如图 1 所示。

该系统主要由现网宏站、无人机平台、安全网关、机载基站、回传终端 (Customer Premise Equipment, CPE)、SP-GW 组成。该系统结构中, 回传终端、机载基站均部署在上飞机设备中, 作为数据传输和网络覆盖工具, 分别与用户终端和宏站建立连接, 形成信号传输路径<sup>[4]</sup>。安全网关作为系统运行安全管理功能模块, 主要对用户的操作权限

作者简介: 代海刚 (1989—), 男, 本科, 工程师, 研究方向为无线通信设计 (宏站、微站、室分系统)。

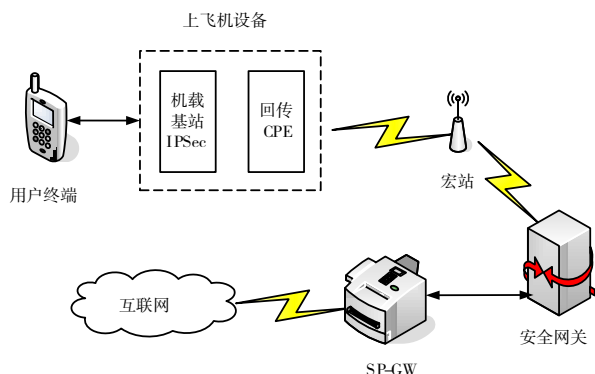


图1 系统组网架构

和身份识别进行管理,为用户提供不同操作权限的服务,包括数据转发、数据修改、数据下载等服务,通过对数据采取加密处理,从而提高数据传输期间的安全性。经过加密处理后的数据将被发送至CPE,经过宏站传输到安全网关,对数据采取解密处理后生成原始数据。此部分数据最终上传至互联网平台,以便应急工作获取相关信息<sup>[5]</sup>。从该结构的分布情况来看,该系统具有较高的数据传输安全性。

## 1.2 系统作业平台

无人机作业平台作为本系统的核心组成部分,对性能和功能的要求较高。综合以下几项要求,为系统选取适合的作业平台。

(1) 续航时长。为了满足应急通信需求,需要持续 20 个小时以上的连续通信,所以无人机的续航时间不得低于 20 个小时。

(2) 载荷量。要求作业平台的载荷量大一些,

能够搭载较多通信设备。部分应急事故的监测需要多种设备同时作业,所以平台的荷载量参数应当大一些<sup>[6]</sup>。

(3) 硬件设备部署及系统运行。要求硬件设备组成架构较为简单,能够在短时间内完成架构部署,支持突发状况的应急通信。

(4) 成本与实用性。系统开发必须控制成本,同时也要保证无人机可用性较强,能够在实际应用中发挥网络信号覆盖作用<sup>[7]</sup>。

(5) 运输便捷。考虑到应急事件的发生存在不确定性,无法确定下一个事件发生的位置,所以要求在短时间内能将设备转移到所需位置,因此要求无人机平台的运输便捷性较高。

(6) 滞空稳定。为了使网络信号稳定,对无人机的滞空悬停能力要求较高。无人机要能够根据信号覆盖要求,在指定位置滞空悬停。

目前,应用比较多的无人机有两种,一种为专业无人机,另外一种为民用无人机。由于民用无人机自带蓄电池支持的持续飞行时间不足 70 min,未能达到要求。专业无人机分为 3 种,分别是固定翼无人机、系留式无人机、旋翼无人机<sup>[8]</sup>。以外形尺寸大小、载荷量、携带便捷、操作简单性等作为对比指标,最终选择了固定翼无人机。这种类型的无人机可以满足上述提出的 6 项要求,综合性能最高。

## 1.3 5G 环境基站设备硬件规格

本系统选取 5G 一体化基站设备,专为无人机机载作业需求定制。基站设备硬件具体规格如表 1 所示。

表1 5G 一体化基站设备硬件规格

指标项	具体规格
作业频段	n3 (1.8 GHz) / n1 (2.1 GHz)
对外接口	1 个监控端口、1 个光口
作业制式	NR FDD
工作带宽	100 MHz、20 MHz、10 MHz、5 MHz
同步方式	空口同步、支持 GPS
接收灵敏度	-103 dBm
天线	回传终端采用定向天线,规格为 7 dBi;对于内置基站采用全向天线,规格为 4 dBi
尺寸	200 mm × 200 mm × 150 mm
重量	低于 5 kg
功耗	低于 200 W
回传方式	支持无线回传、光纤回传、有线以太网回传
供电电源	直流 48 V
发射功率	20 W/10 W

#### 1.4 5G 环境基站设备接口设置

本系统应急通信的正常运行,需要不同类型的接口搭配使用,将网络、电源、调试、通信、GPS、光纤等聚集到一起,为系统的正常运转创造基础环境。基站设备主要接口的功能与规格如下:

(1) 电源接口,为基站输送电能,规格为直流 48 V 电源接口;

(2) 网络接口,作为外接传输网络,同时在调试过程中创建网络环境,规格为千兆以太网,支持 LAN 口和 WAN 口;

(3) 调试接口,作为基站调试操作连接的通信接口;

(4) 通信接口,连接无人机飞控系统与基站,作为通信工具;

(5) GPS 接口,用于输送 GPS 信号,作为输入端子;

(6) 光纤接口,为系统提供光纤网络数据回传通道,光口规格为  $2.5 \text{ Gb} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

### 2 固定翼无人机应急通信覆盖能力评价模型及预算参数

#### 2.1 覆盖能力评价模型构建

本系统无人机作业采用全向天线方式部署。为了加强无人机网络信号覆盖能力,引入高空明区传播计算模型,构建无人机的高空明区作业体系,如图 2 所示。

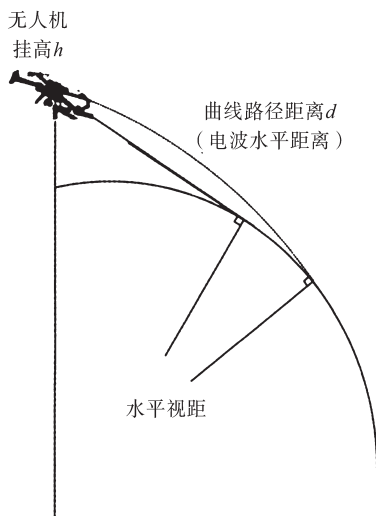


图 2 无人机的高空明区作业体系

对图 2 的作业体系采取简化处理,将无人机基站与用户实际距离  $d$ 、无人机挂高  $h$  看作直角边,

将无人机基站与用户实际距离看作斜边,形成三角体系。按照三角形各边关系,可以得到地球曲面无线视距的传播距离,计算公式如下:

$$d \approx \sqrt{17h_t} + \sqrt{17h_r} \quad (1)$$

式中:  $h_r$  代表用户接收天线的有效高度,对应单位为 m;  $h_t$  代表基站天线有效高度,对应单位为 m;  $d$  代表用户与基站天线之间的距离,同样描述的是有效高度,对应单位为 m。

关于无人机信号传输链路中的损耗,选取经典自由空间传播模型作为研究工具,计算路径中产生的损耗,公式如下:

$$L = 32.45 + 20 \lg(d \cdot f) \quad (2)$$

式中:  $f$  代表无人机基站工作频率,对应单位为 MHz。

#### 2.2 无人机下行覆盖链路预算参数

本系统中固定翼无人机覆盖链路涉及到的预算参数有很多,这些参数在很大程度上决定了通信覆盖能力。链路中的主要预算参数如表 2 所示。

表 2 链路主要预算参数表

参数	参数值
基站总功率	43 dBm
作业带宽	4 500 kHz
天线功率	10 W
导频天线功率	18.3 dBm
占用 PRB 数量	25 个
发射天线数量	2 条
干扰余量	6.2 dB
基站发射电缆损耗	0.52 dB
基站天线发射增益	3 dBi
穿透 margin	5 dB
阴影衰落	8.6 dB
终端天线增益	0 dBi
人体及其他损耗	0 dB
终端目标 RSRP	-104.8 dBm
终端接收机噪声系数	7 dB
空中总损耗	105.98 dB

#### 2.3 无人机回传链路预算参数

系统作业期间,需要对固定翼无人机回传链路中的各项参数进行预算,根据预算结果下达控制命令,从而达到提升系统应急通信覆盖能力。回传链路涉及到的主要预算参数如表 3 所示。

表3 回传链路涉及到的主要预算参数表

参数	参数值
基站总功率	46 dBm
作业带宽	4 500 kHz
天线功率	20 W
导频天线功率	21.3 dBm
占用 PRB 数量	25 个
发射天线数量	2 条
干扰余量	6.2 dB
基站发射电缆损耗	0.52 dB
基站天线发射增益	3.1 dBi
穿透 margin	3 dB
阴影衰落	8.6 dB
终端天线增益	0 dBi
人体及其他损耗	0 dB
终端目标 RSRP	-104.9 dBm
终端接收机噪声系数	6.9 dB
空中总损耗	111.03 dB

### 3 5G 基站环境下固定翼无人机应急通信覆盖能力分析

#### 3.1 无人机覆盖能力及回传能力分析

设置无人机作业环境为 5G 网络, 频点为  $n$  频段 12.1 GHz, 在某地点部署应急通信系统, 设置作业带宽为 5 MHz, 功率为  $2 \times 10$  W, 覆盖网络信号。本次测试假设地面终端 UE 目标参考信号接收功率 (Reference Signal Receiving Power, RSRP) 参数数值为 -104.9 dBm, 当无人机持续飞行中高度达到 200 m 时, 测量此时的网络信号覆盖范围, 得到覆盖半径结果为 2.33 km。该覆盖范围符合系统开发标准。关于无人机的回传能力测试, 测试结果显示该装置支持约 340 km<sup>2</sup> 范围内网络信号覆盖。

#### 3.2 无人机前传 / 回传链路预算的影响

本次测试以发射功率、PRB 占用数量作为变量, 测试无人机的前传 / 回传链路用户接收功率。如果达到预算值, 则认为当前并未受到影响; 如果低于此标准, 则认为当前无人机的网络已经受到影响。关于这两项指标的预算影响测试结果如图 3 和图 4 所示。

综合图 3 和图 4 的测试结果可知, 边缘用户接收功率随着基站发射功率的增加而变大。按照 RSRP 分析, 位于基站下行的覆盖范围在此过程中呈现出逐渐增大的变化趋势, 最大覆盖半径为

3.5 km, 支持 40 km<sup>2</sup> 范围内的用户网络覆盖。对于 800 MHz 频段的作业, 回传作业功率也有所增加, 致使覆盖半径也随之增加, 最大值约为 9 km, 支持 240 km<sup>2</sup> 范围内的用户网络覆盖。

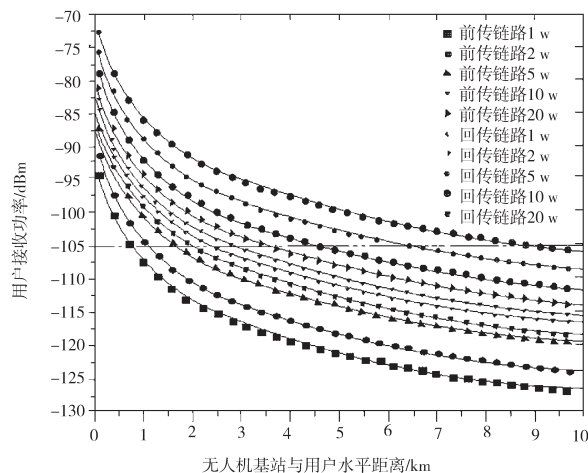


图3 发射功率变化条件下的无人机前传 / 回传链路预算影响测试

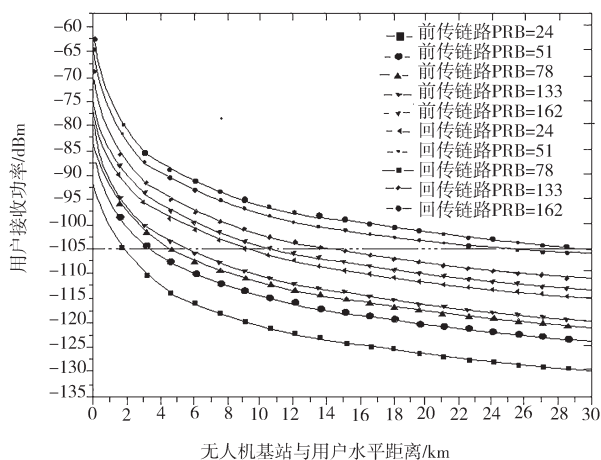


图4 PRB 占用数量变化条件下的无人机前传 / 回传链路预算影响测试

## 4 结 语

本文围绕无人机应急通信覆盖能力问题展开探究, 根据应急通信需求, 选取 5G 网络作为系统作业环境, 构建一套新型无人机应急通信系统, 给出了系统的参数设置方案。通过对系统的应急通信覆盖能力进行测试, 检验系统架构设计可靠性。测试结果显示, 该系统网络信号覆盖能力和信号回传能力较强, 符合应急通信需求, 无人机前传支持

(下转第 125 页)



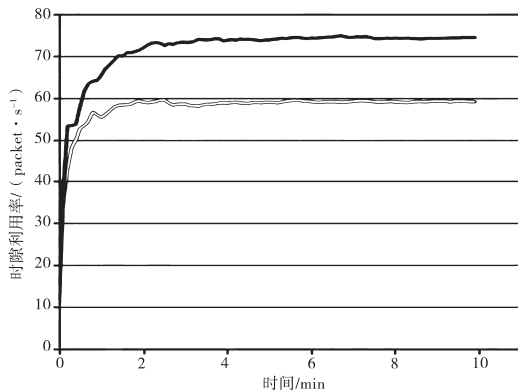


图 11 轮询机制与排队论机制时隙利用率对比

节点入退网时隙分配算法。在设计思路,一是利用排队论的思想进行时隙分配设计,二是设置最高特情优先级以应对战场随时会发生的特殊情况,三是规定优先级的动态修正原则防止低优先级节点分配不到时隙资源而造成的资源浪费,使网络对于节点优先级的管理更加灵活,在时隙资源分配上更加合理,这防止了网络节点资源分配出现“两极分化”的趋势。

通过与传统数据链使用的轮询机制时隙分配算法进行仿真分析对比可以得出,在网络吞吐量上排队论为  $0.52 \text{ Mb} \cdot \text{s}^{-1}$ , 轮询机制为  $0.18 \text{ Mb} \cdot \text{s}^{-1}$ , 排队论远大于轮询机制;在队列时延上排队论为  $0.21 \text{ s}$ , 轮询机制为  $0.32 \text{ s}$ , 排队论网络的实时性比轮询机制高;在时隙利用率上,相比于轮询的60%的利用率,排队论利用率更高,为75%。综合来看,基于排队论的数据链节点入退网时隙分配算法的时隙资源分配率较高,且算法对节点优先级较为敏感。算法适用于网络节点数目多且具备鲜明优先级关系的

网络环境。短时间内,时延特性迅速稳定,可迅速投入战斗使用,满足对网络稳定性的较高要求。

#### 参考文献:

- [1] 吕娜,杜思深,张岳彤.数据链理论与系统[M].北京:电子工业出版社,2018.
- [2] YANAN W, KE W, RAN Z, et al. The optimization of networking method for the system protection communication networks based on the delay analysis[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2019, 1187(4): 042001.
- [3] 刘强.基于排队论的JTIDS网络接入算法[J].火力与指挥控制,2011,36(11):141-146.
- [4] 李志文.数据链动态时隙分配算法的仿真与分析[D].郑州:郑州大学,2018.
- [5] CHANYING Q, YUCHAO L. Research of UAV controller-pilot data link real-time processing technique[EB/OL]. [2021-10-11]. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1883/1/012176/pdf>.
- [6] 陈曦,张世祥,田万勇,等.战术数据链时隙分配协议综述[J].电子科技,2013,26(4):165-168.
- [7] 陈槟,尹亚兰,陈冰清.TDMA战术数据链混合时隙分配建模仿真[J].兵器装备工程学报,2016,37(2):135-138.
- [8] 朱灿彬,毛玉泉,李晓楠,等.航空数据链系统TDMA时隙分配研究[J].火力与指挥控制,2009,34(6):104-107.
- [9] 莫代会,胡飞.航空短波数据链动态TDMA协议设计[J].火力与指挥控制,2019,44(12):136-141.
- [10] 汪鹏志,缪学宁.基于OPNET的Link22数据链动态时隙分配算法仿真[J].舰船电子工程,2020,40(2):27-31.
- [11] 李鼎,尹亚兰,陈冰清.战术数据链动态时隙分配算法研究[J].指挥控制与仿真,2012,34(4):66-69.

责任编辑:郭芳园

(上接第116页)

$40 \text{ km}^2$  范围内的用户网络覆盖,回传支持  $240 \text{ km}^2$  范围内的用户网络覆盖。

#### 参考文献:

- [1] 芒戈,朱雪田,侯继江.面向舰船编队的5G无人机基站群组网接入方案研究[J].电子技术应用,2020,46(3):19-22.
- [2] 张少伟,朱雪田,云翔.5G无人机异构网络的初始波束关联方案研究[J].电子技术应用,2020,46(3):33-37.
- [3] 周剑,贾金岩,张震,等.面向应急保障的5G网联无人机关键技术[J].重庆邮电大学学报(自然科学版),2020,32(4):511-518.

- [4] 唐余,林达,曹立佳,等.模型不确定及干扰下固定翼无人机姿态控制[J].电光与控制,2020,27(1):85-89.
- [5] 钟剑峰,王红军.基于5G和无人机智能组网的应急通信技术[J].电讯技术,2020,60(11):1290-1296.
- [6] 黄志都,崔志美.基于5G+无人机互联环境下固定翼无人机的应急巡检研究[J].通信电源技术,2021,38(7):210-212.
- [7] 相晓嘉,闫超,王菡,等.基于深度强化学习的固定翼无人机编队协调控制方法[J].航空学报,2021,42(4):414-427.
- [8] 韩玲,朱雪田,迟永生.基于5G的低空网联无人机体系研究与应用探讨[J].电子技术应用,2021,47(5):1-4.

责任编辑:郭芳园