

## 基于 5G 的固定翼无人机应急通信覆盖能力研究

袁雪琪<sup>1</sup>, 云翔<sup>2</sup>, 李娜<sup>2</sup>

(1. 中国电信股份有限公司研究院, 北京 102209; 2. 北京佰才邦技术有限公司, 北京 100044)

**摘要:** 国家高度重视应急通信网络的规划与建设, 特别是无人机的应急通信技术研究越来越受到重视, 相对于 4G “尽力而为”的网络特性, 5G 凭借大带宽、低时延和高可靠性的网络能力, 为网络性能配置提供了灵活的配置空间, 将会逐步成为满足应急通信不同场景需求的首选技术。提出了基于固定翼式无人机的 5G 应急通信覆盖解决方案, 该方案通过无人机机载 5G 一体化基站, 结合地面宏基站辅助实现组网。对无人机基站下行覆盖与回传链路预算进行仿真, 结果表明, 所提出的解决方案可以满足偏远地区和应急通信的覆盖需求。

**关键词:** 固定翼无人机; 应急通信; 5G; 无人机

**中图分类号:** TN929.5

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.16157/j.issn.0258-7998.209002

**中文引用格式:** 袁雪琪, 云翔, 李娜. 基于 5G 的固定翼无人机应急通信覆盖能力研究[J]. 电子技术应用, 2020, 46(2): 5-8, 13.

**英文引用格式:** Yuan Xueqi, Yun Xiang, Li Na. Research on emergency coverage capability of fixed wing UAV based on 5G[J]. Application of Electronic Technique, 2020, 46(2): 5-8, 13.

## Research on emergency coverage capability of fixed wing UAV based on 5G

Yuan Xueqi<sup>1</sup>, Yun Xiang<sup>2</sup>, Li Na<sup>2</sup>

(1. China Telecom Research Institute, Beijing 102209, China; 2. Baicells Technologies Co., Ltd., Beijing 100044, China)

**Abstract:** Country attaches great importance to the planning and construction of emergency communication network, especially with more attention paid to the UAV(Unmanned Aerial Vehicle) emergency communication technology research. Relative to the 4G network characteristics of the "Try best", 5G with large bandwidth, low latency and high reliability of network capacity, provides a flexible configuration space for performance of a network configuration, and will gradually become the preferred technology meet the demand of emergency communication different scenarios. UAV is proposed in this paper, based on fixed wing type 5G of emergency communication coverage solution. The solution achieves network through the integration of UAV airborne 5G base stations, combined with ground acer station auxiliary. UAV base station downlink coverage and back link budget are simulated, the results show that the proposed solution can meet the demand of remote areas and emergency communication coverage.

**Key words:** fixed-wing drone; emergency communication; 5G; UAV

## 0 引言

地面通信系统常常由于自然力侵蚀、人为破坏、年久老化导致设备性能下降等多种因素, 影响其稳定性和可靠性, 其移动性与灵活性较差, 难以满足应急通信的要求<sup>[1-2]</sup>。因此, 高灵活性、高可靠性的应急通信措施成为通信技术领域的研究热点。

我国政府为保证并推进我国应急通信网络的建设, 成立了国家应急管理部, 启动天地一体的应急通信网络规划和建设。为响应国家号召, 国内三大运营商积极开展应急通信保障研究。传统应急通信通常采用应急通信车方式, 应急通信车具有较高的机动性与稳定性, 是应急通信设备中的重要组成部分。但在塌方、山体滑坡、地震、海域覆盖等极端场景, 通信车辆难以及时部署; 同时, 由于应急通信车桅杆升降高度限制, 导致天线投射面积

有限。因此, 单一应急通信措施难以满足全方面的应急通信的需要<sup>[3]</sup>。随着无人机技术发展, 特别是无人机的飞行高度、移动半径、续航和载重等能力的大幅提升, 通过无人机搭载基站具备了可行性。此外, 无人机基站具有高可靠的视距链路和灵活部署的能力, 使得无人机组网技术在未来应急通信网络中具有广阔前景<sup>[4-5]</sup>。

5G 是面向 2020 年以后移动通信需求而发展起来的新一代移动通信系统, 在传输速率和资源利用率等方面较 4G 系统获得大幅提升。用户在享受更高、更快、更丰富的体验的同时, 也对网络速率和时延等性能指标提出更高的要求。相对于 4G “尽力而为”的网络特性, 5G 大带宽(0~10 Gb/s)、低时延(1~100 ms)和高可靠性(0~99.999 9%)等能力, 为网络性能配置提供了灵活的配置空间。因此, 基于 5G 的应急系统将会逐步成为满足应急通信不同

场景需求的首选技术。

本文将基于 5G 技术,对固定翼式无人机机载系统的组网架构进行研究<sup>[6-7]</sup>,重点对该架构下的固定翼无人机覆盖和回传能力进行分析,并给出相应结论。

## 1 组网架构

### 1.1 无人机平台选择

应急通信对无人机平台的要求主要包括:

(1)续航时长:由于应急通信场景的需要,续航时间超过 20 小时将更具有实用性;

(2)快速部署:鉴于应急通信事件突发的特点,需要在出现突发情况时在尽量短的时间内开始运作;

(3)运输便捷:鉴于应急事件发生地点的不确定性,需要在短时间内将设备运输至突发事件发生地点;

(4)载荷较大:鉴于应急通信需求的复杂性,需要平台具有较大起飞重量,可以搭载多种应急通信设备;

(5)滞空稳定:具有较好的滞空悬停能力,提供较为稳定的信号覆盖;

(6)经济使用:在降低制造和运营成本的同时,具有较好的使用可靠性。

无人机包括民用级无人机和专业级无人机两种类型。民用无人机载荷较小,自带蓄电池的设计在保证机体轻便的同时也使得飞行时间通常在 20~70 min,无法满足应急通信保障的需求。专业无人机主要包括旋翼无人机、系留式无人机和固定翼无人机 3 种类型。旋翼无人机具有便于操控、垂直起降和长时间悬停等优势,同时无人机结构紧凑,外形尺寸较小。系留式无人机系统以多旋翼无人机为平台,通过专用电源和电缆实现供电和传输,可实现在一定载荷下长时间悬停,实现远距离通信覆盖。系留式无人机具有携带方便、开设迅速、操作简单等特点,但负载有限(载荷为 2~10 kg),从而限制了其应用范围。固定翼无人机尺寸相对较大,操控相对复杂,同时有一定的起降受限,但其更高的飞行高度、更大的载荷重量(特别是近年来小型化的氢燃料电池逐步实用化)、更久的续航能力使得固定翼无人机更适用于大范围的应急通信保障。

### 1.2 机载系统组网架构

机载系统组网架构主要由无人机平台、机载基站、回传终端(Customer Premise Equipment, CPE)、现网宏站、安全网关和核心网组成,如图 1 所示。

机载基站和回传终端部署在无人机平台上提供应急网络覆盖以及将数据传输到现网宏站的功能,安全网关主要用来提供数据解密、防火墙等功能,核心网主要用于用户鉴权、接入管理和数据转发等功能。终端接入机载基站后,机载基站将数据进行加密,加密后的数据通过回传 CPE 传输到宏站以及核心网的网关中,核心网网关将加密数据转给安全网关后对数据进行解密,再通过核心网网关转发到互联网,实现应急通信数据传输的整体流程。

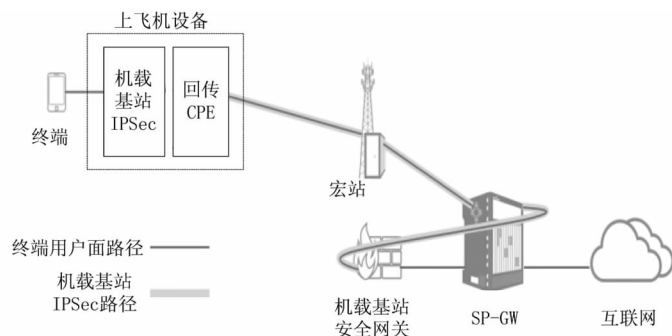


图 1 固定翼式无人机机载系统组网架构

机载基站建议采用专为无人机机载定制的 5G 一体化基站设备,其主要功能要求建议如下。

(1)功能要求建议如表 1 所示。

表 1 5G 一体化基站设备硬件规格建议

项目	描述
工作制式	NR FDD
工作频段	n1(2.1 GHz)/n3(1.8 GHz)
工作带宽	5 MHz、10 MHz、20 MHz、100 MHz 等
对外接口	WAN/LAN 接口:1 个, RJ45 光口:1 个 监控端口:1 个
发射功率	10 W/20 W
接收灵敏度	-103 dBm
同步方式	支持 GPS、空口同步(同频或异频)
MIMO	2×2/4×4 MIMO
回传方式	有线以太网/光纤回传/无线回传
天线	内置基站全向 4 dBi 天线/回传终端 7 dBi 定向天线
功耗	不高于 200 W
电源	48 V 直流
重量	小于 5 kg
尺寸	200 mm×200 mm×150 mm

(2)接口要求建议如表 2 所示。

表 2 5G 一体化基站设备接口建议

接口	描述
网络接口	千兆以太网 WAN/LAN 口,用于外接传输网络和调试
电源接口	48 V 直流电源接口,用于基站供电
调试接口	基站调试通信接口
光纤接口	2.5 Gb/s 光口,用于光纤网络数据回传
GPS 接口	GPS 信号输入端子
通信接口	基站与无人机机控系统通信接口

(3)性能要求建议如表 3 所示。

(4)环境要求建议如表 4 所示。

## 2 覆盖能力分析

### 2.1 传播模型

无人机使用全向天线时,采用高空明区传播计算模型,高空明区示意图如图 2 所示。无人机基站与用户实际距离如图 3 所示。

表 3 5G 一体化基站设备性能建议

项目	描述
技术标准	NR FDD 3GPP Release 16
业务能力	32/96 concurrent users
调度方式	基于业务的 QoS 调度
调制方式	上行 支持: QPSK、16QAM、64QAM 下行 支持: QPSK、16QAM、64QAM
SON	自组织网络: 支持即插即用, 自启动、自动优化, 自动配置

表 4 5G 一体化基站设备环境建议

项目	描述
温度/℃	工作温度: -5~40 存储温度: -20~65
湿度/%RH	5~95
温度变化率/(℃/min)	1
气压/kPa	70~106
防护等级	IP20

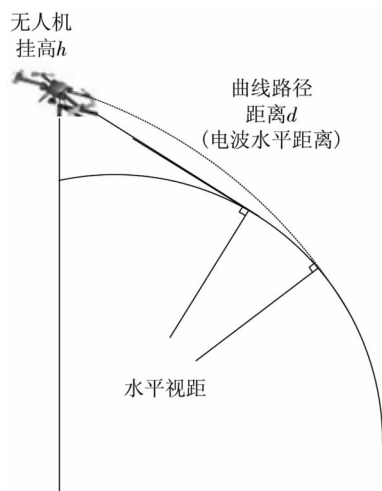


图 2 无人机高空明区传播计算示意图

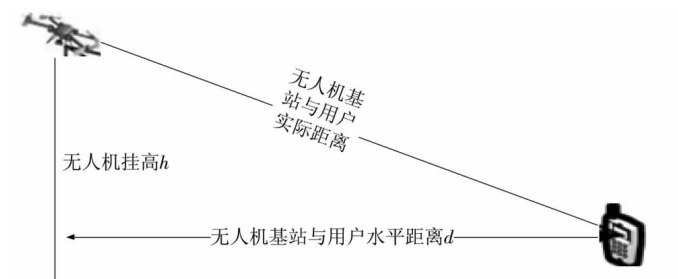


图 3 无人机基站与用户实际距离计算示意图

根据图 3 和图 4 所示,地球曲面无线视距的传播距离可表示为:

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

式中,  $h_t$  为基站天线有效高度,单位为 m;  $h_r$  为用户接收天线有效高度,单位为 m;  $d$  为基站天线与用户之间的有效接收距离,单位为 km。

其中,本文中的链路损耗模型为经典自由空间传播模型,其路径损耗模型计算公式可以表示为:

《电子技术应用》2020 年 第 46 卷 第 2 期

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

式中,  $f$  为无人机基站工作频率,单位为 MHz。

## 2.2 下行链路预算参数

固定翼无人机覆盖链路预算参数如表 5 所示。

表 5 无人机覆盖链路预算参数

参数	数值
功率/天线/W	10
发射天线数	2
基站总功率/dBm	43
占用 PRB 数目	25
使用带宽/kHz	4 500
导频天线功率/dBm	18.2
基站天线发射增益/dBi	3
基站发射电缆损耗/dB	0.5
阴影衰落/dB	8.7
干扰余量/dB	6
穿透 margin/dB	5
人体及其他损耗/dB	0
终端接收机噪声系数/dB	7
终端天线增益/dBi	0
终端目标 RSRP/dBm	-105
空中总损耗/dB	106.04

## 2.3 回传链路预算参数

固定翼无人机回传链路预算参数如表 6 所示。

表 6 无人机回传链路预算参数表

参数	数值
功率/天线/W	20
发射天线数	2
基站总功率/dBm	46
占用 PRB 数目	25
使用带宽/kHz	4 500
导频天线功率/dBm	21.2
基站天线发射增益/dBi	3
基站发射电缆损耗/dB	0.5
阴影衰落/dB	8.7
干扰余量/dB	6
穿透 margin/dB	3
人体及其他损耗/dB	0
终端接收机噪声系数/dB	7
终端天线增益/dBi	0
终端目标 RSRP/dBm	-105
空中总损耗/dB	111.05

## 2.4 覆盖能力分析

基于传播模型以及下行与回传链路预算参数,相应的预算结果如图 4 所示。

固定翼无人机的覆盖结构如图 5 所示。

由链路预算结果可以看出:

(1)无人机覆盖能力:采用 5G n1 2.1 GHz 频点时,基于 5 MHz 带宽  $2 \times 10^4$  W 机载一体化基站进行覆盖,假

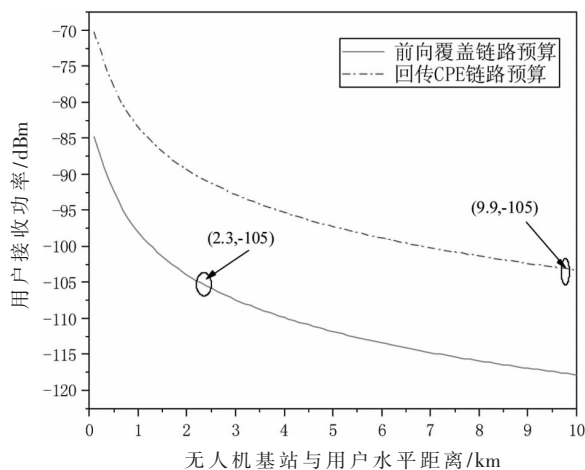


图4 固定翼无人机覆盖与回传链路预算的关系

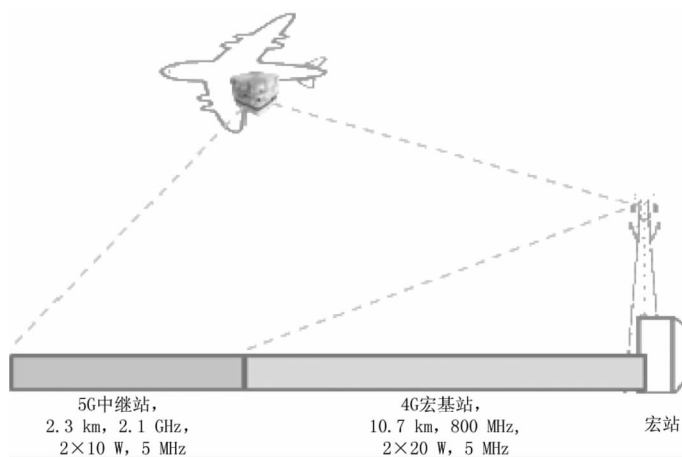


图5 固定翼无人机覆盖能力

设地面终端 UE 的目标 RSRP 为  $-105$  dBm, 升空高度为  $200$  m 的地面覆盖半径超过  $2.3$  km;

(2) 无人机回传能力: 使用  $4\text{G } 800$  MHz 宏基站作为无人机回传基站, 假设  $4\text{G}$  宏基站总功率为  $2 \times 20$  W, 使用  $5$  MHz 工作带宽, 宏站与经过无人机搭载的  $4\text{G}$  回传 CPE 的覆盖半径大于  $10.7$  km, 升空高度为  $200$  m 的回传 CPE 距离宏站的地面覆盖半径为  $9.9$  km, 可满足约  $340$  km<sup>2</sup> 范围内的语音与数据等业务使用。

由图 6 和图 7 可以看出:

(1) 对于  $2.1$  GHz 频段  $5$  MHz 带宽的  $5\text{G}$  一体化基站通过无人机平台搭载后, 当覆盖区域内达到边缘  $-105$  dBm 左右的覆盖水平时, 随着基站发射功率的增加, 边缘用户接收功率逐渐增大, 对于目标 RSRP 来说, 基站下行覆盖范围逐渐增大, 由  $2 \times 1$  W 功率下的  $0.9$  km 覆盖半径最大到  $2 \times 20$  W 的半径  $3.5$  km 覆盖, 可最大满足  $40$  km<sup>2</sup> 内用户语音与数据等业务使用需求。

(2) 在地面  $4\text{G}$  宏基站辅助下,  $800$  MHz 频段的回传 CPE 随着发射功率从  $2 \times 1$  W 逐渐增大至  $2 \times 20$  W 时, 其覆盖半径由  $2$  km 扩大到  $9$  km 左右, 最大可满足  $240$  km<sup>2</sup> 以内的用户需求。

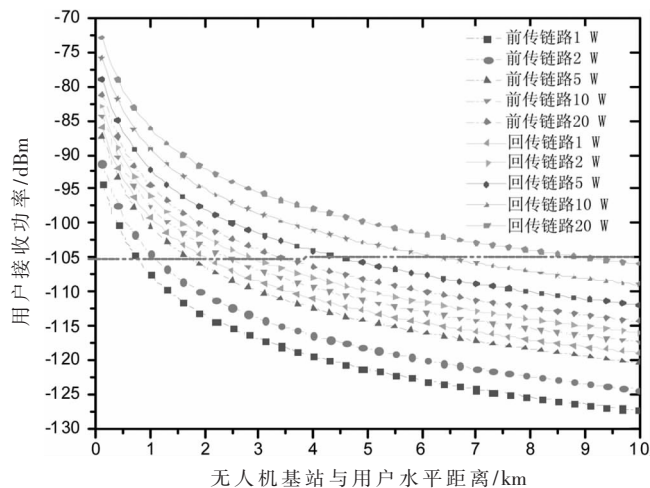


图6 发射功率对固定翼无人机前传/回传链路预算的影响

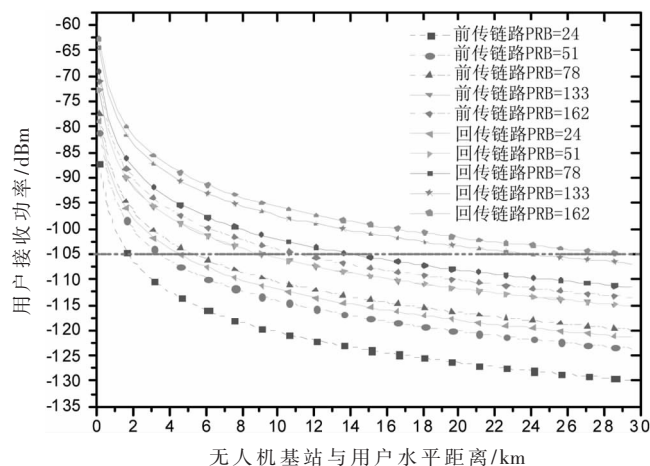


图7 PRB 占用数目对固定翼无人机基站前传/回传链路预算的影响

### 3 结论

本文提出了基于固定翼式无人机的  $5\text{G}$  应急通信覆盖解决方案, 该方案通过无人机机载  $5\text{G}$  一体化基站, 结合地面宏基站辅助实现组网。无人机基站下行覆盖与回传链路预算的仿真结果表明, 固定翼无人机搭载一体化基站设备的方案在原有宏站覆盖半径  $10.7$  km 的基础上, 进一步将覆盖半径提升  $2.3$  km, 达到  $13$  km, 总覆盖面积约  $530$  km<sup>2</sup>。该方案可以满足偏远地区覆盖和应急通信的基本需求。

### 参考文献

- [1] 吴鹏, 王黎阳. 系留式多旋翼无人机在应急通信中的应用[J]. 中国信息化, 2018(12): 60-61.
- [2] 李威, 李跃军. 利用无人机搭建高空基站的研究[J]. 通讯世界, 2017(9): 12-13.
- [3] 卢洪涛, 黄毅华, 陈玥. 系留式无人机应急平台搭建及测试[J]. 广东通信技术, 2018, 38(12): 13-16.
- [4] HE X, BITO J, TENTZERIS M M. A drone-based wireless power transfer and communications platform[C]. Wireless

(下转第 13 页)



- [4] 3GPP TS 29.244.Interface between the control plane and the user plane nodes(release 15)[S].2018.
- [5] 3GPP TS 38.401.NG-RAN;architecture description(release 15)[S].3GPP,2018.
- [6] 3GPP TS 29.554.Background data transfer policy control service(release 15)[S].3GPP,2018.
- [7] ETSI GS MEC 003-2006.Mobile edge computing(MEC); framework and reference architecture ,v1.1[S].European

(上接第4页)

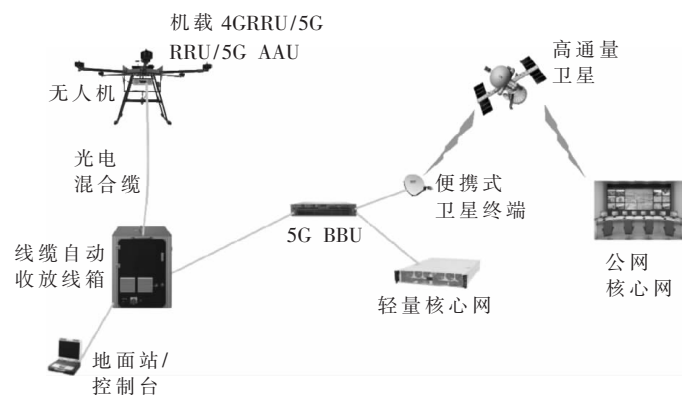


图6 系留式无人机轻量核心网解决方案

该系统由无人机平台、5G小型化室外基站和轻量核心网组等部分组成。其中,无人机平台包括无人机、光电混合缆、线缆自动收放线箱和地面控制台。小型化室外基站由5G BBU、机载4G RRU、机载5G AAU和室外型BBU组成。

室外型BBU支持通过卫星链路回传到公网核心网,可用于广域网络通信。同时,可以直接连接本地下沉的轻量核心网,5G终端同时支持使用公网SIM卡实现公网通信和使用私网SIM卡实现应急通信私有网络的连接。

#### 4 结论

本文从快速构建应急通信专网的应用场景入手,分析轻量5G核心网的实现架构和关键技术,并结合应急保障典型案例进行部署方案的探索。轻量5G核心网以其低成本、可裁剪、低功耗的优势,在数据转发面下沉的同时,进一步下沉控制面,最大化保证应急专网的安全性

(上接第8页)

Power Transfer Conference.IEEE,2017.

- [5] GRIFFIN B,DETWEILER C.Resonant wireless power transfer to ground sensors from a UAV[C].Proceedings-IEEE International Conference on Robotics and Automation,2012: 2660-2665.
- [6] 侯鑫.固定翼无人机载通信侦察系统应用探讨[J].通讯世界,2019,26(8):206-207.
- [7] FENG Q,TAMEH E K,NIX A R,et al.Modeling the

Telecommunications Standards Institute(ETSI),2016.

(收稿日期:2020-01-15)

#### 作者简介:

侯佳(1996-),女,硕士,主要研究方向:5G、轻量化核心网、认知无线网络和频谱资源高效管理方法和技术。

朱雪田(1975-),男,博士,教授级高工,主要研究方向:5G移动通信技术与业务创新。

和网络管理的自主性,成为应急通信行业新的解决方案。

#### 参考文献

- [1] 3GPP TS 23.501.System architecture for the 5G system; stage 2[S].2018.
- [2] 3GPP TS 23.502.Procedures for the 5G system;stage 2[S].2018.
- [3] 3GPP TS 29.518.5G system;access and mobility management services;stage 3[S].2019.
- [4] 3GPP TS 29.244.Interface between the control plane and the user plane nodes;stage 3[S].2018.
- [5] 3GPP TS 29.512.Session management policy control service; stage 3[S].2018.
- [6] 3GPP TS 29.508.5G system;session management event exposure service;stage 3[S].2018.
- [7] 3GPP TS 29.502.5G system;session management services; stage 3[S].2019.
- [8] 3GPP TS 29.503.Unified data management services[S].2019.
- [9] 3GPP TS 38.415.PDU session user plane protocol[S].2018.
- [10] 3GPP TS 29.507.Access and mobility policy control service[S].2019.
- [11] 3GPP TS 29.512.Session management policy control service[S].2018.

(收稿日期:2020-01-14)

#### 作者简介:

朱雪田(1975-),男,博士,教授级高工,主要研究方向:5G移动通信技术与业务创新。

王秋红(1985-),女,硕士,工程师,主要研究方向:5GC核心网。

张少伟(1992-),男,硕士,工程师,主要研究方向:5GC系统架构、频谱兼容性分析等。

likelihood of line-of-sight for air-to-ground radio propagation in urban environments[C].IEEE GLOBECOM,2006.

(收稿日期:2020-01-14)

#### 作者简介:

袁雪琪(1991-),女,硕士,工程师,主要研究方向:5G/6G天线技术与超材料、太赫兹通信与成像技术、石墨烯器件。

云翔(1984-),男,硕士,工程师,主要研究方向:面向5G/B5G非地面网络系统方案设计以及接入网标准。

李娜(1985-),女,硕士,工程师,主要研究方向:5G核心网控制面与用户面的标准。