

基于5G地面公网的 网联无人机低空网络覆盖



Low-Altitude Network Coverage for Connected UAVs Based on 5G Terrestrial Public Networks

王俊杰/Wang Junjie¹, 王迪/Wang Di², 申奇/Shen Qi³,
肖腾飞/Xiao Tengfei¹

(1. 中国联合网络通信有限公司, 中国 北京 100033;

2. 中讯邮电咨询设计院, 中国 北京 100048;

3. 中国联合网络通信有限公司智能城市研究院, 中国 北京 100048)

(1. China United Network Communications Group Co., Ltd., Beijing
100033, China;

2. China Information Technology Design & Consulting Institute Co., Ltd.,
Beijing 100048, China;

3. China Unicom Smart City Research Institute, Beijing 100048, China)

DOI: 10.12142/ZTETJ.202603013

网络出版地址: <https://link.cnki.net/urlid/34.1228.TN.20240808.0902.002>

网络出版日期: 2024-08-08

收稿日期: 2024-07-10

摘要: 对地面公网对空覆盖性能进行分析, 探索了面向5G网联无人机的低空网络发展思路与方案。仿真及测试结果表明, 测试目标区域内的地面公网对于300 m以下低空区域具有较好的连续对空覆盖能力, 但对于300 m以上低空区域的连续覆盖能力尚存在一定的局限性。针对基于地面公网低空网络的对空覆盖特性, 阐述了面向5G网联无人机的低空网络解决方案及相应的关键技术, 并给出了面向5G网联无人机的低空网络建设思路与建议。

关键词: 地面公网; 低空覆盖网络; 无人机

Abstract: This paper analyzes the air-to-ground coverage performance of terrestrial public networks and explores the development approaches and solutions for low-altitude networks for 5G-connected UAVs. Simulation and test results show that the terrestrial public network in the target area has good continuous air-to-ground coverage capability for low-altitude areas below 300 m, while its continuous coverage capability for areas above 300 m has certain limitations. In view of the air-to-ground coverage characteristics of terrestrial-public-network-based low-altitude networks, this paper elaborates the corresponding solutions and key technologies, and provides suggestions and recommendations for the construction and development of low-altitude networks for 5G-connected UAVs.

Keywords: terrestrial network; low-altitude coverage network; unmanned aerial vehicle

引用格式: 王俊杰, 王迪, 申奇, 等. 基于5G地面公网的网联无人机低空网络覆盖 [J]. 中兴通讯技术, 2026, 32(3): 76-82. DOI: 10.12142/ZTETJ.202603013

Citation: Wang J J, Wang D, Shen Q, et al. Low-altitude network coverage for connected UAVs based on 5G terrestrial public networks [J]. ZTE technology journal, 2026, 32(3): 76-82. DOI: 10.12142/ZTETJ.202603013

根据中国中长期科技发展规划, 空天地一体化网络已成为未来通信网络的重要发展趋势。低空智联网作为空天地一体化网络空基网络基础设施中不可或缺的一部分, 近年来发展迅速, 受到了各行业的高度关注^[1-2]。随着中国5G技术的飞速发展及无人机政策的逐步落地, 网联无人机产业已经迎来了黄金发展窗口期。地面5G网络所具备的大带宽、

低时延、高可靠以及大连接的特点为低空网联无人机通信提供了新的解决方案, 赋予了网联无人机更加多元化的应用, 并加速了网联无人机从消费级向工业级应用的转型。目前, 无人机在各行各业的应用场景中频频作为传统方案的替代者出现, 由此催生出无人机+行业应用的低空智联网新兴产业发展模式, 并且已经在一些典型行业中实现了广泛应用, 如物流运输、能源巡检、水域巡查、地质勘探、应急救援、农业植保、公共安防与消费娱乐等^[1-3]。

低空智联网依托地面蜂窝网络、低轨卫星、各类空基平

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2020YFB1808001, 2020YFB1808004)

台及地面互联网基础设施,在3 000 m以下低空空域搭建适配低空业务运营的实体通信网络,是地面移动通信网络向空域的延伸。其中,面向5G网联无人机的低空网络以地面公网为基础,复用5G通信技术为低空飞行器终端提供物联网接入通道,支撑无人机全域管控与行业业务承载,是低空数字产业发展的核心底座^[4-7]。当前该类低空网络产业已进入高速增长阶段:干线与支线物流、中高空巡检的市场规模可达数百亿元;低空巡检、农林植保、测绘安防、末端配送、航拍娱乐等领域的市场规模有望突破1 000亿元^[3-4]。市场机构MNM测算数据显示,2025年中国无人机产业市场规模已达1 800亿元,约占全球市场份额17.5%;其中纯网络连接类业务占比约11%,网络连接配套平台综合服务业务占比68%^[2,4,8]。

现阶段运营商现网宏基站的无线覆盖设计以地面用户为核心,网络规划、参数优化工作均围绕地面移动业务展开,并未针对空域覆盖性能做专项调整。虽然宏基站定向天线主瓣增益指向地面,但低空信道以视距传播为主,现有公网基站仍具备一定空域覆盖能力^[1,9-10]。与传统地面蜂窝网络相比,5G网联无人机低空通信场景存在干扰源繁杂、空中小区覆盖形态不规则、邻区拓扑关系复杂等固有特征^[1,11],进而引发空中终端切换频繁、上下行链路自干扰、空地用户互扰等一系列覆盖与通信质量问题^[12]。针对上述痛点,本文搭建仿真模型评估现网基站低空覆盖能力,结合实测数据给出基于5G地面公网的低空组网建设与落地部署方案,并设计适配网联无人机的低空网络综合管理平台架构。

1 地面公网低空覆盖特性分析及试验验证

1.1 基于地面公网的低空网络覆盖场景

依据覆盖高度对地面公网低空覆盖场景分层,可划分为3类:高度低于100 m的地面覆盖层、高度100~300 m的低空覆盖层、高度300 m以上的高空空域覆盖层。地面覆盖层依托基站天线主瓣完成信号覆盖,区域内楼宇、植被遮挡密集,无线传播以非视距(NLOS)为主;100~300 m低空覆盖层依靠基站旁瓣实现空域覆盖,也是无人机主流作业飞行区间,该空域遮挡物稀少,信道多呈现视距(LOS)传播特征^[3,9]。典型的面向5G网联无人机的低空网络覆盖场景如图1所示。

由图1可见,地面覆盖层与低空覆盖层内终端的无线传输环境、基站覆盖特性存在显著区别,具体差异如下^[1]:

1) 无线传输环境存在差异。地面覆盖层受地形起伏、植被遮挡等共同影响,信道传播条件复杂。针对地面用户的

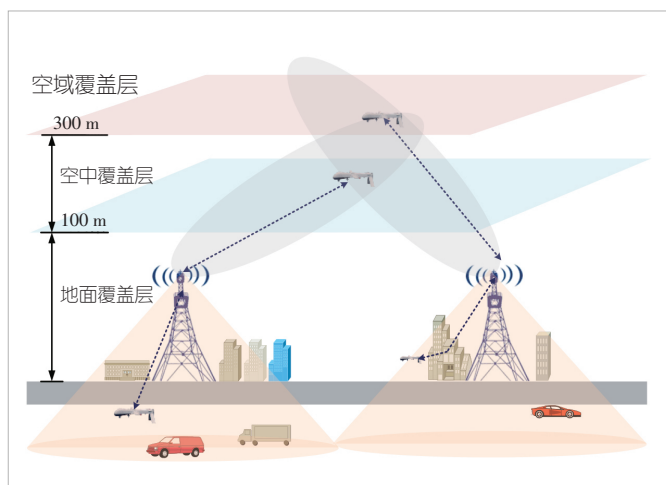


图1 5G网联无人机低空网络覆盖场景

蜂窝网络规划需预留阴影衰落、快衰落、建筑穿透等多重损耗余量,大幅削弱基站对地有效覆盖能力。而100~300 m低空覆盖层几乎无地形与建筑物遮挡,基站与无人机终端之间以LOS传播为主,直射路径信号能量稳定,能够有效减缓空中无线信号衰减速度。

2) 天线覆盖特性存在差异。地面覆盖层依托宏基站天线主瓣辅以少量旁瓣完成对地信号覆盖;低空覆盖层与300 m以上空域覆盖层依靠宏基站天线旁瓣实现空域信号覆盖。

1.2 基于地面公网的低空网络覆盖特性仿真及测试验证

结合图1中宏基站对空覆盖场景,以某行政区环境作为仿真及测试区域。该区域地表形态复杂,其环境呈现出山地、丘陵、平原等多种地貌类型。不失一般性,设宏基站间距为1 000 m,单站水平覆盖半径700 m,天线的机械下倾角为 $6^{\circ}\sim 8^{\circ}$,实际偏离有源天线单元(AAU)/射频拉远单元(RRU)法线方向的向上扩展角为 $22^{\circ}\sim 24^{\circ}$,位于主瓣3 dB外部区域,未进入深衰落和旁瓣区域。本文分别以时分双工(TDD) 64TR AAU设备、频分双工(FDD) 2T/4T RRU设备为例进行分析。FDD方式及TDD方式天线的垂直波瓣增益仿真结果如图2所示。其中, 0° 表示水平方向,正、负角度分别表示天线下倾、上仰的角度。AAU设备具有天线振子较多、垂直扫描波瓣宽度大以及波束赋形能力等特性。此外,RRU设备均为外接天线,且不具备波束扫描能力,其天线的垂直波瓣一般为 $6^{\circ}\sim 7^{\circ}$ 。故TDD方式与FDD方式的天线垂直波瓣差异较大。综上,相比于地面终端,200 m高度无人机的AAU垂直天线增益损失为10~15 dB,但一般公网规划会考虑室内用户的穿透损耗、阴影衰落、NLOS衰落

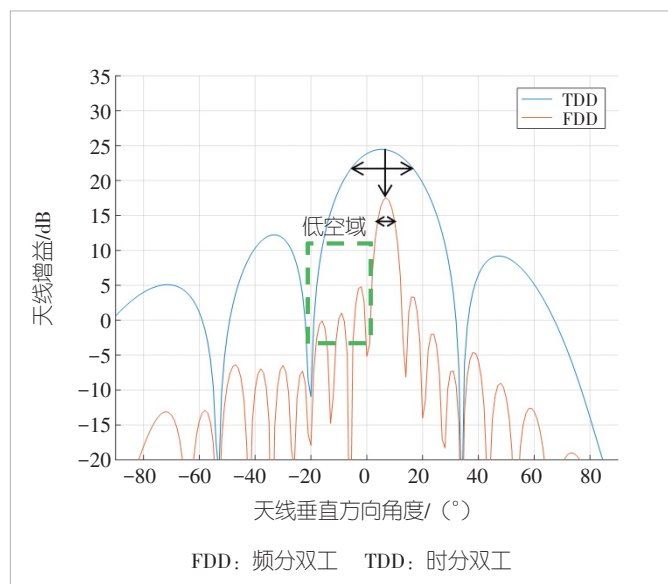


图2 TDD与FDD垂直波瓣增益结果图

余量等,上述因素的叠加会远超天线增益损失。

数值计算结果表明,在相同环境下NLOS和LOS信道模型的覆盖差异超过10 dB,且通信载波频率越高,差异越大。阴影衰落、快衰落和穿透损耗在低空域大幅下降,导致实际低空域用户和地面用户的覆盖差异超过20 dB。

为量化评估地面公网对空覆盖性能,本文依托某运营商北方区域现网工参,完成低空覆盖特性仿真与外场实测。链路预算结果表明:若保障1 km高度无人机终端上行边缘速率20 Mbit/s,宏基站站间距不宜超过7.41 km。基于该站间距约束,从目标行政区现网中选取161座5G宏基站作为空域覆盖测试站点。

不失一般性,本文设定地面公网基站的天线配置、RS发射功率、接收增益及灵敏度分别为64TR、43 dBm、25 dBi及-120 dBm,无人机终端的天线配置、参考信号接收功率(RSRP)分别为2T4R、26 dBm。设定仿真地理精度为20 m,频率为3.5 GHz,传输带宽为40 MHz。基于上述参数配置,对0.1~1 km高度的上行速率与RSRP进行仿真。不同高度下的上行速率与RSRP的仿真结果分别如图3与图4所示。

图3和图4的统计数据显示,理想LOS低空覆盖场景中,随着飞行高度提升,空域内终端上行速率与RSRP均呈现逐步衰减趋势。在0.1~1 km高度区间内,上行速率门限6 Mbit/s、10 Mbit/s、15 Mbit/s、20 Mbit/s、25 Mbit/s对应的最低空域覆盖率依次为94.86%、94.56%、92.88%、89.08%、82.56%。由图4可知,该高度区间的RSRP整体分布于-100~-85 dBm,约95%空域的RSRP高于-100 dBm。

为验证仿真结论的有效性,本文开展连续覆盖空域实地

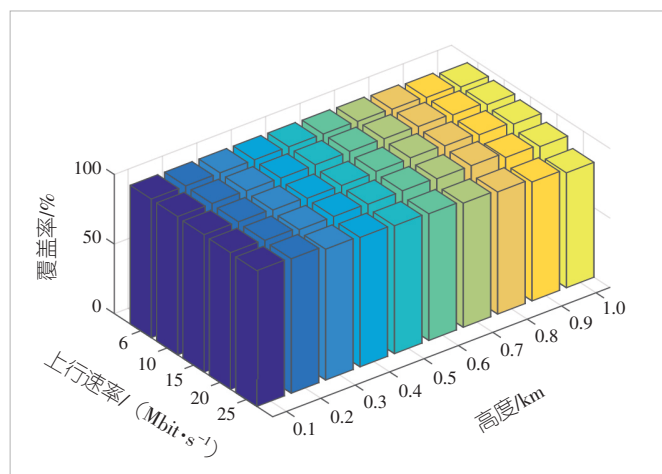


图3 测试区域内0.1~1 km的无人机终端上行速率统计结果

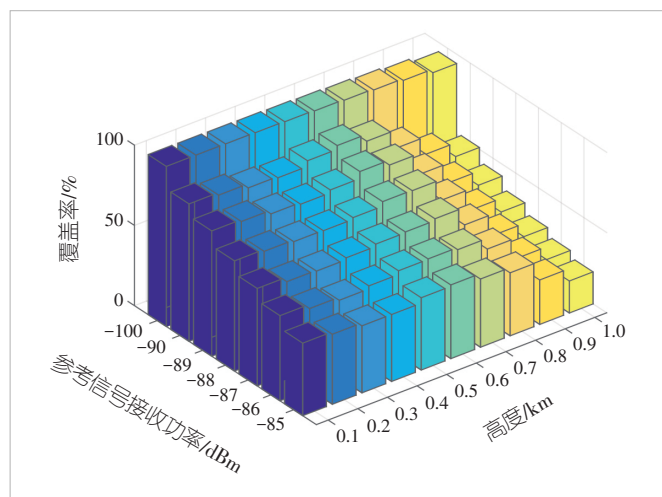


图4 测试区域内0.1~1 km高度的无人机终端RSRP统计结果

测试。为保证测试环境与仿真模型条件一致,测试选取的空域覆盖基站全部复用前文数值仿真的设备与工参配置。在连片覆盖区域搭载5G无人机通信模组,控制无人机沿预设航线往返巡航,完成小区移动性验证测试,测试区域宏基站部署点位与无人机飞行轨迹如图5所示。

结合图5测试场景,无人机单程飞行距离约8 km,分别设置100 m、200 m、300 m共3类典型低空飞行高度,各高度均完成6次往返飞行测试。实测结果表明,无人机低空飞行过程中物理小区标识(PCI)切换现象频发,其中200 m及以下低空区间的小区切换频次更高。测试全程采集无人机终端的多项核心运行指标,包括地面宏网覆盖下的RSRP均值、上行速率均值、Ping时延均值、上行调制与编码策略(MCS)、上行调度资源块(RB)数量、服务小区PCI、邻区RSRP及邻区PCI。基于上述实测指标,可进一步计算得到测试航段内无人机的小区切换成功率与5G网络驻留比,各

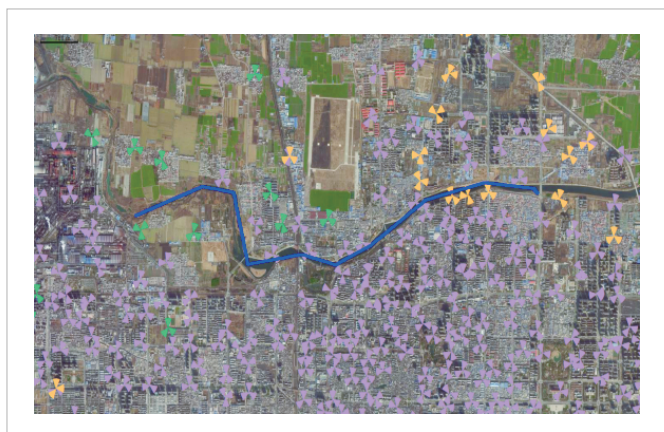


图5 测试区域基站分布与飞行路线图

项测试统计结果如表1所示。

由表1测试结果可知,无人机终端的RSRP与上行速率变化规律与理论仿真高度契合,各项实测指标均落在理论计算区间范围内。无人机通信终端平均Ping时延整体偏高,主要原因是低空飞行过程中频繁的小区切换引发的链路抖动与信令交互延迟。纵向对比不同飞行高度指标可知,300 m高度的无人机上行速率优于100 m、200 m低空区间,这是因为200 m及以下低空空域邻区拓扑关系复杂、信号干扰严重。同时,200 m高度的无人机上行速率与小区切换成功率均较低。该问题源于强遮挡环境(楼宇、山体)与复杂邻区的共同作用,频繁的切换重选导致通信性能劣化。

现场测试数据表明,现有地面5G公网对100~300 m低空区域具备良好的覆盖能力:空域整体RSRP均值约为-85 dBm,上行速率维持在60 Mbit/s左右,平均Ping时延约为35 ms,业务丢包率低于1%。从细分空域来看,测试区域100~300 m低空全域覆盖正常,所有RSRP的采样值均高于-95 dBm。其中,100~200 m高度的Ping时延基本稳定在30~40 ms,300 m高度的时延增至64 ms。此外,经实测发现,低空无人机飞行全程PCI切换频繁,直接造成上下行传输速率明显波动。

基于上述仿真及测试结果分析,现阶段基于地面5G公网的低空网络主要面临下述3个方面的挑战^[1,9,11]:

表1 地面公网基站的空域覆盖性能测试统计结果

高度/m	RSRP/ dBm	Ping时延/ ms	上行速率/ (Mbit·s ⁻¹)	切换成功 率/%	5G驻留 比/%
100	-80.55	32.60	46.11	100.00	100.00
200	-82.63	54.75	26.62	98.04	100.00
300	-86.45	71.43	64.76	100.00	89.08

RSRP: 参考信号接收功率

1) 地面公网低空覆盖主要依托宏基站天线旁瓣实现,是导致无人机小区频繁切换的主要原因。宏基站定向天线存在多组旁瓣结构,且旁瓣之间由天线零位隔离,零位区域无线辐射信号极弱。当无人机飞行至服务小区天线零位覆盖区间时,机载终端极易切换至周边小区旁瓣信号覆盖区域,引发连续PCI切换,增加移动性管理难度。同时,低空视距传播场景下,网络邻区关系随飞行高度提升愈发复杂、难以规划。相较于地面场景,低空终端可接收更多基站的上下行信号,小区重叠覆盖问题突出,信号干扰显著加剧。实测数据显示,低空无人机同步信号块(SSB)的信干噪比(SINR)较地面终端低10 dB左右。

2) 上下行干扰问题。低空LOS场景下,无人机终端将收到多个小区的无线信号,存在较大的上下行干扰。上行方面,地面用户主要由基站主瓣覆盖,无人机低空覆盖则是以地面基站旁瓣覆盖为主。邻区上行也是通过旁瓣接收无人机的干扰信号,其接收到的旁瓣增益远低于接收到的主瓣增益。下行方面,考虑到当前多为非集群式网联无人机通信业务场景,低空无人机对地面邻区用户的干扰较小。综上,空地用户相互干扰主要表现在上行干扰。

3) 空地用户间干扰问题。邻区地面用户的干扰信号被无人机服务小区的主瓣接收,主瓣接收增益相对较大,因此地面用户更容易干扰到无人机。需要说明的是,此种干扰程度与地面用户数量正相关,严重时会导致无人机业务异常。测试表明,无人机对邻区用户干扰小于地面用户对邻区用户干扰,干扰强度相差约为10 dB。

针对上述挑战,本文面向网联无人机提出了低空网络解决方案,主要涉及下述3种技术:

1) 基于广播波束SSB的“1+X”技术方案。该方案将水平设置为一个宽波束,垂直方向设置为X个波束。在水平方向上,“1+X”技术方案采用增强型的宽波束,通过借用小于0.5%的业务功率实现SSB的6 dB功率增强,从而能够实现与水平多波束基本相当的覆盖。在垂直方向上,可以依托智能网规工具及高精电子地图按照特定场景,自适应地规划配置X波束的个数、宽度、倾角、方向等参数,从而提高垂直覆盖高度。也就是说,“1+X”方案在空域覆盖特性方面,以最少的水平SSB波束与按需垂直波束配置的方式,实现三维全空间覆盖;在控制SSB广播邻区干扰方面,通过时域轮询在相邻小区之间配置不同的SSB波束,以便错开邻区之间SSB波束的发送时间,从而降低邻区之间强干扰广播波束的时域空域碰撞概率,能够较好地解决邻区干扰问题。综上,“1+X”技术方案能够将传统单一宽波束转化为三维立体波束,增加垂直维度的自由度,实现空分复用能力,能适

应复杂环境下各种覆盖场景，为基于5G地面网络的对空覆盖奠定了基础。

2) 低空天线调优及邻区关系优化技术。对基站天线工参进行调优处理或者进行PCI邻区关系优化，有助于规避乒乓效应及切换失败等问题。例如，针对网联无人机飞行路线上的邻区关系，可通过准确配置切换迟滞、小区特定偏置等切换参数，并结合有序飞行路径覆盖优化邻区关系或局部无人机飞行线路，从而降低移动性对实时业务的负面影响。

3) 无人机公共网络切片保障技术。针对网联无人机业务差异化资源分配需求，引入端到端公共网络切片技术保障无人机业务质量。该切片由无线接入网、传输网、核心网协同构建，通过统一的端到端切片管理系统实现全域调度管控。网络切片可为无人机用户提供软硬件专属网络资源与定制化保障能力，精准匹配无人机业务相较于地面普通用户的个性化服务质量（QoS）需求，实现低空无人机业务的稳定、高效承载。

2 低空网络建设思路与建议

2.1 公网无人机规划指标建议

参照地面蜂窝覆盖规划标准，本文给出低空网络覆盖指标阈值：密集城区低空场景RSRP不低于-95 dBm、上行边缘速率不低于3 Mbit/s；郊区低空场景RSRP不低于-100 dBm、上行边缘速率为1~2 Mbit/s^[1]。

网联无人机高清视频回传业务以上行流量为主，上行速率需求显著高于下行。其中4K视频回传上行边缘速率建议不低于25 Mbit/s，测绘数据回传与8K高清视频回传上行速率需达到100 Mbit/s及以上^[2-3]。低空网络建设初期可将上下行链路25 Mbit/s作为基础承载标准，满足无人机常规业务运行；后续可依托终端性能迭代、局部基站软硬件升级，平滑演进至100 Mbit/s承载能力。各类典型应用场景对应的业务传输速率指标如表2所示。

2.2 低空网络管理平台体系建设

近年来，网联无人机产业高速发展，已广泛应用于个人消费、农林植保、地理测绘、环境监测、电力巡检、影视航拍等多个行业场景。然而，低空无人机具备数量规模大、单机体积小、任务场景复杂多变等特征，这些特征使得现有空域通信、导航定位等低空管控体系仍存在明显短板。随着中国低空空

域持续开放与无人机产业快速扩容，中国无人机适航管理制度与行业技术标准将持续完善，构建适配低空无人机规模化运行的全域监管体系，已成为低空产业规范化发展的必然趋势^[11,13-14]。

针对当前网联无人机通信业务存在的问题，本文提出一套低空网联无人机整体组网架构方案。整体架构如图6所示，该方案涵盖无线网至核心网的端到端组网逻辑，能够满足多类型低空业务场景的网络部署需求。在该架构下，网联无人机与地面控制终端依托现有地面5G公网完成业务数据回传与控制指令交互，并通过上层业务服务器实现多行业低空应用的业务加载与功能承载。

由图6可见，面向5G网联无人机的低空网络管控平台集成5G机载通信终端、5G地空传输网络、无人机云服务平台、地面控制站及行业业务终端等核心功能单元，可为低空智联网业务提供端到端的网络承载与业务赋能，有效支撑管线巡检、城市安防、生态环保、河湖水域监测、森林消防、低空空域管控等各类低空行业应用。未来，5G网联无人机低空网络管控系统将搭建完备的“端、管、云”一体化架

表2 不同场景业务下的传输速率建议指标^[10-11]

应用场景	业务	上行速率/ (Mbit·s ⁻¹)	下行速率/ (Mbit·s ⁻¹)	覆盖范围
物流	遥测飞行	0.2	0.3	城区、城郊、农村
	高清视频传输	25	0.3	
农业	喷洒作业	0.3	0.3	城郊、农村
	土地勘测	20	0.3	
巡检与 安防	4K视频	25	0.3	巡检覆盖基础设施, 安防覆盖城市
测绘	测绘数据回传	100	0.3	城区、城郊、农村
直播	4K视频	25	0.6	城区、热点区域
	8K视频	100	0.6	

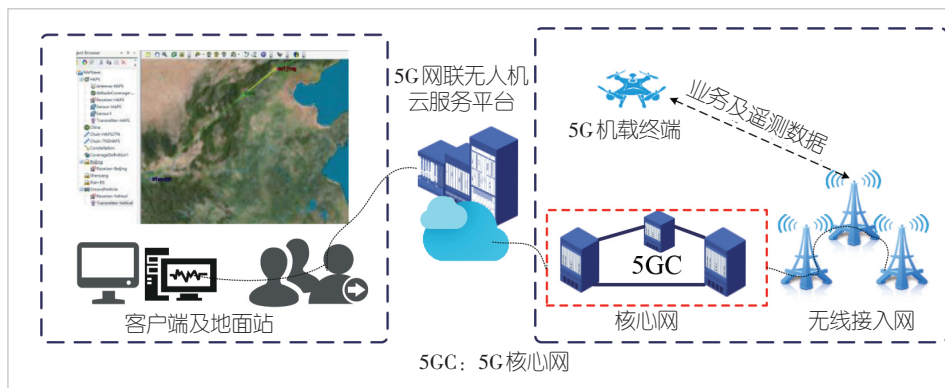


图6 网联无人机组网架构示意图

构,实现低空无人机设备的智能化、自动化全域管控,系统整体功能架构如图7所示。

由图7可知,面向5G网联无人机的低空网络监管系统在功能上分为终端、传输管道、云端三大模块。该系统依托三大模块提供飞行状态监测、数据存储、权限认证、数据调用等基础服务。

低空网络监管平台以无人机为空中业务载体,赋能各类垂直行业。平台对网络资源实施切片处理,针对不同业务提供差异化网络保障,满足各类业务在传输速率、通信时延、定位精度、信息安全等方面的指标需求。平台在云端完成行业应用软件即服务(SaaS)部署与业务能力平台即服务(PaaS)封装,构建无人机“端、管、云”一体化运营服务体系^[1,13-14]。未来,依托5G增强移动宽带(eMBB)、超高可靠超低时延通信(URLLC)、海量机器类通信(mMTC)等面向ToB/ToC的融合通信服务特性,边缘计算能力以及网络切片能力,可以实现网联无人机的用户体验升级和监管系统的自动化,助力无人机产业安全高效发展。

2.3 基于地面公网的低空网络发展建议

5G网联无人机可承载地理测绘、航拍直播、智慧农林、安防巡检、应急通信等多元化业务,是培育数字经济新兴产业的重要载体。未来,可从以下3个方面着手构建面向5G网联无人机的生态体系^[1,9]:

1) 加快民用无人机行业应用基础设施、服务保障体系建设,建立技术应用交流平台、新技术演示验证中心等,推进民用无人机在农林植保、地理测绘、环境监测、应急救援等行业领域创新应用。

2) 推进人工智能在民用无人机领域融合应用,加快提

高民用无人机娱乐性及智能作业水平,支持开发多样化衍生产品和服务。

3) 拓展民用无人机在文化、教育等领域的融合应用,利用“互联网+”开展行业应用创新,发展公共服务供应商,拓展服务领域和价值。

考虑到现阶段仍存在产业发展不均衡的问题,中国无人机行业应当分阶段逐步建立统一技术体制的面向5G网联无人机的低空智能网络。构建面向5G网联无人机低空智能网络,应以地面网络为基础,依托5G网联无人机,打造泛在低空智能网络,实现多种异构网络深度融合。分阶段逐步建立统一技术体制泛在低空通信网络的步骤可概括为:

第1阶段是互联互通与业务融合阶段:搭建一套支持随遇接入、按需调度、安全可信的标准化5G网联无人机低空通信体系,保障用户借助单套多模终端完成低空网络与地面蜂窝网络的一体化接入,进一步拓宽低空网络的接入用户规模与承载业务范围。

第2阶段是混合接入与系统深度融合阶段:构建能够支撑用户随遇接入、支持小区无缝切换的一体化无线网络,使整套网络具备连续稳定通信、高可靠安全传输、区域大容量并发承载、高机动数据回传等综合通信能力,最终完成适配5G网联无人机的完整低空智能网络体系搭建。

3 总结与展望

本文阐述了网联无人机的发展现状及趋势,分析了基于地面公网的低空网络覆盖性能及挑战,探索了面向网联无人机的低空网络的发展思路与解决方案。考虑到国家政策、空域开放程度、应用成熟度与建网成本等因素,对于300 m以下低空区域可基于地面5G公网实现对空连续覆盖;

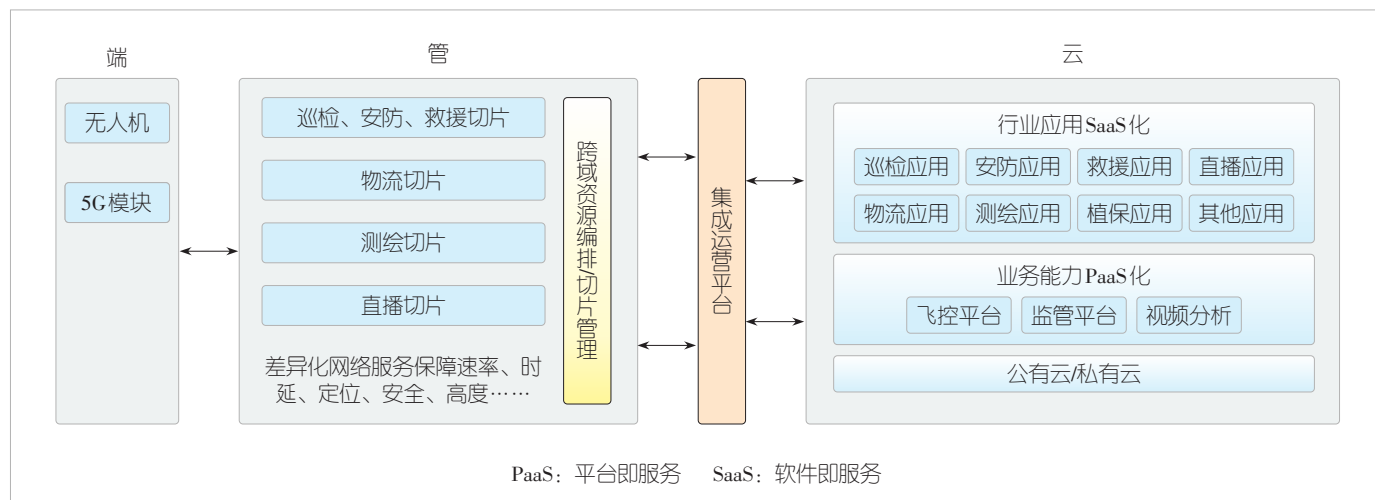


图7 面向5G网联无人机的低空网络“端、管、云”架构示意图

对于300~3 000 m高度的低空区域,其连续覆盖特性尚待进一步验证,或可采用地面对空覆盖专网的建网方式或基于卫星通信的空天地一体化组网方式。现阶段,基于地面公网的低空覆盖网络主要以地面基站的天线旁瓣对空覆盖方式为主。基于地面5G公网的低空网络对空覆盖特性的分析仿真及实测结果表明,地面宏基站对空通信终端的覆盖能力在300 m以下空域内并非全弱于其对地面终端的覆盖能力,且具备连续覆盖条件。需要说明的是,相对于地面通信终端而言,对空通信终端的下行同频干扰也很严重,且其受干扰程度与地面基站的复杂程度、站址密集度正相关。就解决方案而言,基于地面5G网络新空口技术将成为低空通信关键技术,可以采用“1+X”垂直覆盖的技术优化对空覆盖特性,采用三域协同端到端网络切片的方式保障无人机的QoS需求。在网联无人机监管与运营方面,应当以无人机业务能力的原子化、云化,以及产业生态极简调用为目标,构建“端-管-云”架构的无人机监管系统。

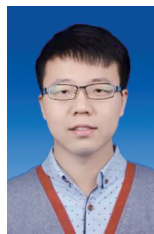
面向5G网联无人机的低空网络应以5G网联无人机为载体,依托地面5G公网的对空覆盖能力,实现对地面区域与低空区域的立体覆盖,同时拓展公共通信业务、政企业务,为客户提供差异化的最优质5G低空通信服务,实现业务体验与系统效率的同步提升。未来,打造“泛在、智能、协同”的低空智联网络还需加速投入技术创新,推动5G无人机业务及产业生态建立,实现“5G+无人机”的方式赋能千行百业,助力各行业产业发展,对打造数字经济新兴产业具有重要意义。

参考文献

- [1] 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+10
- [2] 中国联合网络通信有限公司.中国联通空天地一体化通信网络白皮书[R].2020
- [3] 中国移动通信集团有限公司.基于5G通信技术的无人机立体覆盖网络白皮书[R].2021
- [4] 孙一,吴威,潘文苹,等.5G低空网络部署研究[J].通信电源技术,2020,37(17):183-185. DOI: 10.19399/j.cnki.tpt.2020.17.060
- [5] 刘超,陆璐,王硕,等.面向空天地一体多接入的融合6G网络架构展望[J].移动通信,2020,44(6):116-120
- [6] 林彬,张治强,韩晓玲,等.“空天地海”一体化的海上应急通信网络技术综述[J].移动通信,2020,44(9):19-26
- [7] 李福昌,裴郁杉,王俊杰,等.基于“7·20郑州特大暴雨”对空天地一体化通信的思考[J].移动通信,2021,45(5):81-85
- [8] 中国联通.B5G通信关键技术与发展愿景[EB/OL].(2019-12-30)[2024-10-25].<https://max.book118.com/html/2019/1230/5124023233002213.shtm>

- [9] IMT-2020(5G)推进组.5G无人机应用白皮书[R].2018
- [10] Vanelli-Coralli A, Guidotti A, Foggi T, et al. 5G and beyond 5G non-terrestrial networks: trends and research challenges [C]// Proceedings of IEEE 3rd 5G World Forum (5GWF). IEEE, 2020: 163-169. DOI: 10.1109/5gwf49715.2020.9221119
- [11] 中国联合网络通信有限公司研究院.中国联通6G白皮书(V1.0)[R].2021
- [12] 3GPP TR 38.811: 2020 Technical specification group radio access network; study on new radio (NR) to support non-terrestrial networks (Release 15) [S]
- [13] 张勃,冯毅,马丹,等.5G低空网络解决方案和运营应用[J].电信科学,2020,36(1):28-33
- [14] 中华人民共和国中央人民政府.无人驾驶航空器飞行管理暂行条例[EB/OL].(2023-06-28)[2024-10-25].https://www.gov.cn/zhengce/content/202306/content_6888799.htm

作者简介



王俊杰,中国联合网络通信有限公司工程师;主要研究方向为空地一体化通信网络融合、泛低空通信网络与多目标优化算法等。



王迪,中讯邮电咨询设计院有限公司工程师;主要研究方向为网络大数据分析、数字化运营、云网一体化行业市场创新产品研发。



申奇,中国联合网络通信有限公司智能城市研究院工程师;主要研究方向为智慧城市顶层设计及规划咨询。



肖腾飞,中国联合网络通信有限公司工程师;主要从事国家宏观战略和通信产业政策研究。