

面向多样化需求的下一代无线网组网方案研究

Research on Next Generation Wireless Network Networking Solutions for Diversified Requirements

蔡凯,肖瑞,王蕾,曾伟(中国联通北京分公司,北京 100038)
Cai Kai, Xiao Rui, Wang Lei, Zeng Wei(China Unicom Beijing Branch, Beijing 100038, China)

摘要:

随着数字经济的不断发展,未来数智应用也将不断涌现,对无线通信基础设施提出更高要求。当前5G-A网络以及下一代移动通信网络在通感一体化、低空经济、车路协同等应用场景中,需提供高性能、高可靠的组网服务。面对新挑战,提出功能协调、多频协同、资源利旧、按需实施的创新组网设计思路和设计方法。通过示范区域的测试评估及初步应用验证,该方案能够提供相对稳定可靠的场景覆盖和组网性能。

关键词:

5G-A; 6G; 组网能力; 通感融合; 车路协同
doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2025.01.002
文章编号: 1007-3043(2025)01-0006-08
中图分类号: TN929.5
文献标识码: A
开放科学(资源服务)标识码(OSID): 

Abstract:

With the continuous development of the digital economy, future applications of digital intelligence will also continue to emerge, which puts forward higher requirements on wireless communication infrastructure capabilities. Currently, 5G-A and 6G networks will provide high-performance and highly reliable networking services in application scenarios such as integrated sensing and communication (ISAC), low-altitude economy, and intelligent vehicle infrastructure cooperative. Facing these new challenges, it propose innovative networking design ideas and methods that include functional coordination, multi-frequency collaboration, resource utilization, and on-demand implementation. Through testing, evaluation, and preliminary application verification in the demonstration area, this solution can provide relatively stable and reliable scene coverage and networking performance.

Keywords:

5G-A; 6G; Networking capability; Integrated sensing and communication; Intelligent vehicle infrastructure cooperative

引用格式: 蔡凯,肖瑞,王蕾,等. 面向多样化需求的下一代无线网组网方案研究[J]. 邮电设计技术, 2025(1): 6-13.

1 概述

自诞生以来,移动通信技术持续推动信息技术的发展和应用程序的进步。从2G技术到5G技术,再到当前的5G-Advanced技术,这一不断迭代更新的过程不仅催生了多种创新应用,也为下一代移动通信技术——6G的发展奠定了基础。截至2023年5月底,我国已累计建成5G基站284.4万个,移动物联网终端用户超过20.5亿,在全球主要经济体中率先实现“物”连接数超过“人”连接数,数字经济发展基石日益巩固。目

前,5G-A已经从标准化步入产业化实施阶段,全球行业广泛关注人工智能、区块链、云计算、算力网络等热点新兴领域的标准化研究,5G-A将有效支撑5G应用规模增长和数字化创新发展,从而为产业带来新的机遇^[1-2]。本文将针对未来的数字信息发展趋势,结合通感融合、低空经济、车联网等主要应用场景,分析基于5G-A的泛在多频移动组网方案,探索面向未来的下一代移动通信技术的无线网络服务场景及能力^[3-6]。基于当前5G网络部署应用情况,结合未来应用场景的预期判断,设计实施5G-A卓越互联能力体系专项,打造以5G-A为基础并面向6G的全新数智互联新方案(见图1)。

收稿日期: 2024-12-06



图1 5G-A 数智互联总体构想

2 应用需求

作为5G的进阶版,5G-A通过引入多种新方案来应对新挑战,在高中低频广域组网、一网多能通感融合、极致空口优化升级等多方面持续创新突破。本文聚焦于未来新型应用的发展趋势,针对通感融合、低空经济、车路协同、上行增强等领域进行深入探索。

2.1 通感融合

通感一体网络是一种新型的信息处理模式,它将通信、感知和算力3个领域紧密结合在一起。通感一体网络的关键技术包括通感一体的信道模型、通感一体波形和帧结构设计、通信增强感知、感知辅助通信、高可靠目标检测、精准目标识别、空地网络协同、低空网络的通信保障、空联网技术、无人机防撞系统和低空航控平台等。该技术将在快递物流与交通巡检、农林植保与遥感测绘、应急救援与低空安防、城市管理与低空旅游等场景具备广泛的应用前景。

在5G-A组网应用过程中,通感一体应用需进行

针对性的组网设计和网络评估,根据当前不同设备厂商的试点方案,进行适配调整。既要保证网络通信的可靠性,又要兼顾网络感知的稳定性及虚警率。当前,通感融合网络在低空监视及车路协同领域需求迫切,且对网络的组网指标需求较高。未来该领域将在网络覆盖能力、无线环境优化、应用环境匹配等方面提出更高要求。

2.2 低空经济

低空经济是国家战略决策的未来重大发展方向,在运输、巡检、国防、文旅等多方面都有关键应用。以各种有人驾驶和无人驾驶航空器的各类低空飞行活动为牵引,辐射带动相关领域融合发展的综合性经济形态。5G-A以及6G均聚焦于未来低空经济的发展需求,探索如何实现低空经济应用场景的有效覆盖,以及如何利用低空设备实现广域泛在组网,以达到空天一体协同高效覆盖的要求。

低空经济的需求驱动了对低空网络广域泛在覆盖的追求,这要求低空组网能力需突破原有无线网络

的覆盖模式,因此引入了三维立体覆盖的概念。低空组网的手段除了传统的地面覆盖方式,也能够通过高空高维度的覆盖方式,在低空广域上达到稳定覆盖、可靠传输、指标均匀的无线网络组网能力。

2.3 车路协同

随着“碳达峰,碳中和”战略的深入推进,新能源技术在交通运输领域的应用全面爆发^[7]。以电动化为基础,汽车智能化的发展给未来的运输与出行带来深刻的变革。车路协同应用场景正是基于未来智能驾驶、智慧出行提出的全新理念。如何解决高速道路稳定覆盖的难题是车路协同场景的关键点。5G-A针对车路协同场景提出专门的服务方案及建议,同时,面向6G的高速协同互联能力也将持续迭代。

以车路协同为重要的发展方向,基于未来无线网络的“智算车联网”能够赋能自动驾驶、车路协同等多种应用场景,推动车路云计算一体化发展,从而提升车联网的业务体验。该网络能够在高速场景下实现特殊区域高速稳定覆盖,实现上下行能力均衡,并保证可靠低时延传输。下一代移动通信网络也将对应场景的服务能力进行了加强提升。

2.4 上行增强

大上行网络是在原有的无线网络通信基础上,进行的上行能力增强及针对性组网。未来随着个人分享数字生活的不断发展,以及数字直播、流媒体服务及海量物联网数据上传等服务场景的持续迭代,对上行网络的需求不断增加。大上行网络技术是5G-A技术及未来6G技术发展的重点方向,是突破传统的移动通信网络瓶颈的切入点之一。大上行网络需要满足高爆发场景的传输需求,同时还要能够提供高速可靠的数据回传能力。在原有5G网络的基础资源上,通过5G-A的特性能力提升,能够适应当前新需求。

大上行网络的能力需求与传统下行网络的组网覆盖需求差异明显,传统的组网覆盖方案不能最大化发挥基础资源的上行传输能力。其次,可靠稳定的上行网络传输,在基础特性及网络指标的使用判断方式上存在不同。专注上行、大上行网络覆盖技术及组网方案,能够最大化提升上行感知,满足日趋重要的上行业务需求。

3 泛在能力协同

当前,5G-A的总体部署思路是:以中低频网络作为打底网,5G-A在5G网络的基础上只针对特殊需要

的场景进行部署。高频网络、高中低频多频段协同及载波聚合等组网方式及方案,成为5G-A核心网络能力来源。

3.1 高频组网

高频组网能够较好地解决高热度、高容量、高爆发的场景,能够提供纯净可靠高带宽的无线网络能力。同时,高频网络的频率资源丰富、抗干扰能力强,在一些特殊需求的场景也具备高应用价值,如体育场、超高清直播、物联传输等。

毫米波总共频谱资源多达19.25 GHz,约为sub 6 GHz整个频段带宽的3倍。考虑到毫米波频谱资源丰富的特点,3GPP为毫米波定义了比sub 6 GHz频段更大的SCS(Sub-Carrier Spacing)和更宽的小区带宽,尽可能提升毫米波的峰值速率。5G毫米波可以支持400 MHz/800 MHz的大带宽,通过不同运营商之间的共建共享,还可以支持超过800 MHz的超大带宽,具备超大带宽通信的能力。毫米波系统支持多流传输,以及64QAM和256QAM等高阶调制方式。毫米波帧结构支持上下行不同帧结构配置方式,可根据需求选择不同的配置方式,针对不同场景实现高速率的通信业务需求。目前毫米波下行峰值速率可以达到近10 Gbit/s,上行峰值速率可以达到近2 Gbit/s,为未来网络的万兆能力打下了基础。

在进行5G-A容量规划时,要注意网络的时隙配置,因为不同的时隙配置对应的上下行容量是不同的。5G-A的一种重点应用场景是大上行,在该场景下为了保障上行传输速率和容量,可能会将时隙配置成2:3,这样上行的峰值速率能达到2 Gbit/s,上行能提供的容量达到4 Gbit/s。在普通场景下,5G-A的时隙配置一般为4:1,这时下行容量最大,峰值速率和容量都能达到10 Gbit/s。此外,高频还具备低时延、灵活配置、精细控制的特点。规划示例如表1所示。

组网设计原则如下:在热点区域补充网络能力,在重点区域补充专项能力,在特殊场景设计针对能力。

3.2 多频协同

5G-A会针对不同场景提供不同的组网能力和方案,实现高频与中低频网络协同和无感切换,为用户提供广域的泛在连接。

NR-DC使得具有高低频双连接能力的终端分别与NR低频基站和NR毫米波基站连接,利用2个基站的无线资源进行传输。其中,控制面由FR1基站负责

表1 容量计算示例

场景	2K摄像头	4K摄像头	最差I帧碰撞	速率需求/(Mbit/s)
远程天车1	6	1	2个2K I帧与1个4K I帧碰撞	$2 \times 6 \times 2 + 2 \times 3 + 8 \times 10 = 110$
远程天车2	6	1	同上	同上,110
远程天车3	6	1	同上	同上,110
远程天车4	6	1	同上	同上,110
无人天车1	4	0	2个2K I帧碰撞	$2 \times 6 \times 2 + 2 \times 2 = 28$
产线监控	11	0	2个2K I帧碰撞	$2 \times 6 \times 2 + 2 \times 2 = 62$
加渣机器人	1	0	无碰撞	$2 \times 1 = 2$
总计	36	4	-	532

处理,而用户面的传输则在这2个基站上实施;通过PDCP层进行分流,高低频数据各自独立反馈。

NR-CA使具有高低频CA能力的终端同时利用NR低频小区和NR毫米波小区的无线资源进行传输,提升用户体验。无论是控制面还是用户面数据,都由FR1基站传输;从RLC层分流;高低频数据反馈可通过一组PUCCH反馈,也可各自独立反馈。

相比于NR-DC, NR-CA可以进一步实现覆盖的补充;NR-CA支持将FR2的所有上行控制信息承载到FR1。NR-DC和NR-CA对比说明如图2所示。

由于5G中低频托底网的存在,5G-A用户不用担心脱网。顺畅的高低频切换,在从有5G-A网络的区域到没有5G-A网络区域的时候,可以实现无感体验。而从没有5G-A网络的地方过渡到有5G-A网络的地方时,也因为顺畅的高低频切换,可以顺利地实现速率升级。

工业场馆内外移动测试高低频切换性能,C-Band

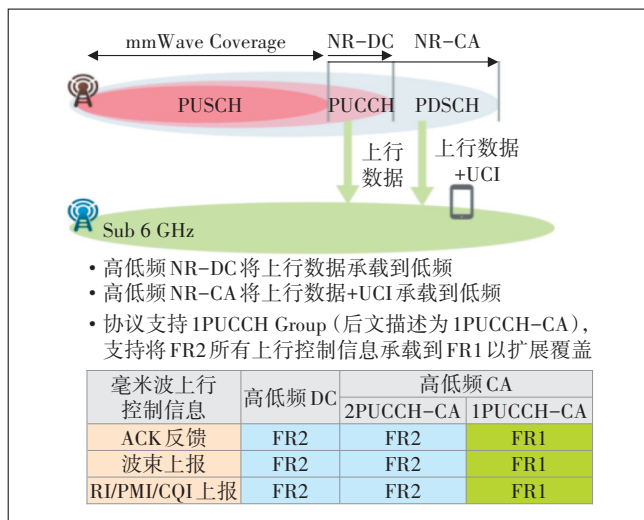


图2 NR-DC和NR-CA对比说明

到毫米波配置基于频率优先级的异频切换策略,毫米波到C-Band配置基于覆盖的异频切换策略。手持测试终端P1和P2区域来回移动,观察用户覆盖和吞吐率变化情况。经验证,切换过程中终端下行获得明显的无感体验。高低频切换终端吞吐率变化情况如图3所示。

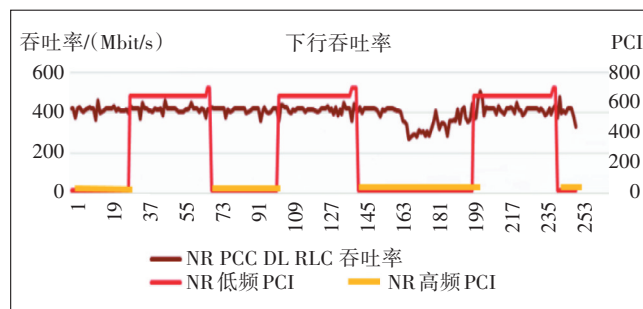


图3 高低频切换终端吞吐率变化情况

组网设计应遵循以下原则:中频网络打底、高频网络补充、低频网络补盲。形成高中低频搭配的组网模式,同时考虑各种需求及专网需求,并为6G预留接口。需考虑6 GHz及太赫兹网络的特殊应用场景,并先行先试多频协同策略。

3.3 多载波聚合

多载波聚合是从LTE时代就被提出的技术。多载波聚合,特别是载波聚合(Carrier Aggregation, CA),是一种将多个载波单元(Component Carrier, CC)聚合在一起以支持更大的传输带宽的技术。通过多个连续或者非连续的分量载波聚合,可以获取更大的传输带宽。这种技术能够很好地将多个载波聚合成一个更宽的频谱,同时也可以把一些不连续的频谱碎片聚合到一起。载波聚合类型有3种:带内连续载波聚合、带内非连续载波聚合、带间非连续载波聚合。

除了5G-A自身进行载波聚合之外,也可以对5G-A和5G中低频进行载波聚合,成为NR-CA。NR-CA可以实现5G-A网络容量的增加,在5G-A网络信号较好的情况下,其效果似乎并不明显。例如,在上行峰值速率点位,5G-A在2:3时隙配置下的上行峰值速率为2 Gbit/s,3.5 GHz的上行峰值速率为100 Mbit/s,相比2 Gbit/s,100 Mbit/s仅占5%。但是在5G-A网络信号较差的情况下,上行速率降到50 Mbit/s,3.5 GHz的信号可能还很好,能提供50 Mbit/s,相比5G-A的50 Mbit/s,3.5 GHz提供的50 Mbit/s就能产生翻倍的效果。载波聚合技术将是未来重要的无线技术手段,是频带

资源高效应用的技术保证。

组网设计应遵循以下原则:实现多频率协同覆盖,采取灵活多样的载波策略,以实现大带宽极致能力。5G-A载波聚合策略,引入三载波能力,能够提供更高的服务能力,未来多载波聚合能力将成为整合分散资源能力的重要手段。

4 多能力组网专案

随着物联网、大数据、云计算等技术的快速发展,万物智联已经成为推动产业升级、社会发展的核心驱动力,通感融合、低空经济、车路协同、大上行等多种应用应运而生^[8-9]。通过智能化设备的互联互通,实现数据的实时采集、传输和处理,从而实现能力跃升。“行业+专案”的赋能方式能够精准满足产业升级的需求。由于不同行业面临的挑战和机遇各不相同,因此需要量身定制的解决方案来推动其发展。通过深入研究行业特点和发展趋势,结合具体专案的实施,可以为行业提供有针对性的技术支持和创新思路。

4.1 通感融合网络

5G-A网络不再是一张单纯的通信网络,而是融合了多种其他功能的网络。由于5G-A高频网络信号波束窄、反射性能好,它可以很好地实现通感融合。通感融合可以用于多个领域,大大扩展了5G-A网络的边界^[10]。同样因为5G-A波束窄,可以提供高精度的室内定位,最佳精度小于1 m。5G-A具有高精度的室内定位功能,由于其性价比高,使大量应用需求得以成为现实。利用5G-A更高的频段、更宽的带宽、更大规模天线阵列,通过从无线信号中获取距离、速度、角度信息还可实现高精度成像。通过结合通感融合、室内定位、高精度成像等技术,5G-A极大地扩充了系统能力,重塑了网络边界。

通感融合网络的组网,要在无线网络通信组网的指标要求上,兼顾感知网络组网能力指标。根据无线网络通信组网的总体规划,按照覆盖指标制定网络建设指导及组网建议,例如当前组网覆盖指标要求SS-RSRP>-105 dBm,考核指标弱覆盖区域(<-105 dBm网格)>95%。而感知网络在保证基础的无线射频强度的情况下,同时要考虑感知关键指标,例如通感虚警率<5%;连续轨迹跟踪>95%;机、非、人识别准确率>95%;定位精度为0.5 m。通过以上指标限制及组网设计要求,经过综合验证分析及评估试验,通感最优的组网站间距<500 m,同时能够满足通信及感知的覆盖要

求。经过探索研究,针对通感网络组网设计提出了以下建议。

a) 通感一体信源覆盖范围不大于500 m。可根据多频资源分配通感能力。

b) 通感一体信源覆盖区域须为LOS场景,无死角、无遮挡。

c) 通感一体信源覆盖区域应避免线性部署,各自形成三角、多角交错覆盖。

d) 通感一体信源在山区、城市高层覆盖,高低衔接、视距可见。

通感融合组网原则示意如图4所示。

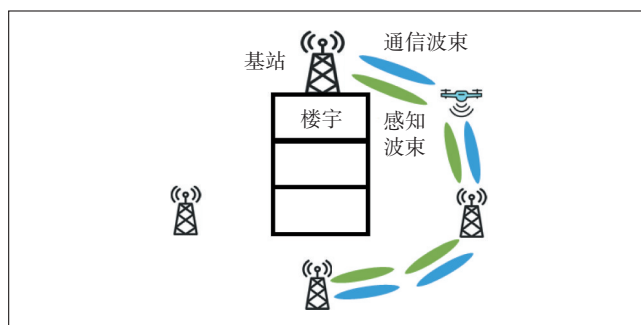


图4 通感融合组网原则示意

4.2 低空覆盖网络

根据当前的低空经济发展规划及下一步的战略部署,各省、市、地区已经全面铺开低空经济发展示范工作,其中北京市以延庆、平谷、丰台等地区为核心区域开展低空经济试点工作。在传统低空网络场景中,以低于500 m的空域为传统低空区域。目前无线网络在该区域的覆盖并没有针对性的方案,在低于100 m的空域存在大量的反射信号及越区覆盖信号,覆盖质量差,造成极大的干扰。在当前传统覆盖网络模式下,低空100 m空域的覆盖质量SS-RSRP<-85 dBm,SS-SINR<5 dB,下行速率低于200 Mbit/s,上行速率低于150 Mbit/s,网络抖动大,移动切换不稳定。

针对以上情况,本文设计实现了300 m以下的低空网络覆盖方案,由于500 m区间依靠现网覆盖难度较大,需要针对性的工程施工及规划建设。300 m网络的低空覆盖,能够通过现网设备的调整,实现低空网络的可控覆盖。300 m以下低空覆盖网络能够在低空区域实现SS-RSRP>-95 dBm;SS-SINR>8 dBm;下行速率不低于200 Mbit/s,上行速率稳定在100 Mbit/s以上,时延抖动可控,终端切换平滑。同时在500 m区域也能够达到-100 dBm的覆盖标准,网络感知速率稳

定。设计低空覆盖网络组网建议如下。

a) 低空覆盖基站站址较高,不低于 25 m,高于周边树木及遮挡楼宇。上下行业务可以异频实施。

b) 射频系统采取平射或者负角度覆盖,可以采用射频倒装、平装,能够形成较大负角度。

c) 低空覆盖空域至少有 2 个对打信源,保证低空网络平滑覆盖及移动切换。

d) 需要根据低空业务主要类型及主要业务需求进行组网,下行业务基站覆盖距离需大于 350 m 小于 800 m,上行业务覆盖距离不得大于 500 m。此外,鉴于时延敏感性,需要同站覆盖或者同频切换。低空组网原则示意如图 5 所示。

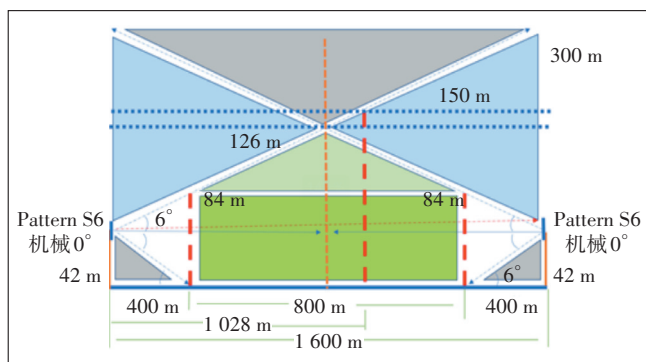


图5 低空组网原则示意

4.3 车路协同网络

车路云协同场景是当前车联网发展的重要方向,为了打通未来自动驾驶高数智场景,提升车路协同市场规模及应用创新能力,需探索出一条将车路云信息同步的技术和应用,真正做到车路一体、信息共享。针对车路协同场景的特殊性,其应用场景大概分为路口、路线、高速环线等,在城市密集区大概可以分为路口、路线 2 种。针对 2 种场景采取不同的覆盖方案。城市密集道路最大覆盖容量基本能够满足路线容量需求。

针对以上情况,需要针对不同的车路场景规划设

计不同的网络覆盖方案。在路口场景中,主要的应用需求为道路相关数据上传,包括监控、摄像、安全、交通、安防、路政等。线路场景主要以车辆下行数据为主。例如典型的路口应用需求为“双 20”,即 20 Mbit/s 上行速率、20 ms 时延,典型的路线需求为“双 50”,即 50 Mbit/s 下行速率、50 ms 时延。但是根据实际情况的不同,相应参数及需求也有较大差异,特别是针对高速环路场景,还应该考虑多普勒效应以及同小区的连续覆盖能力。车路协同覆盖网络组网的建议如下。

a) 针对车路协同路口场景,应按照上行大容量进行设计,多频协同实施。可以划分多小区或使用微站,合理划分小区边缘,确保终端与信源的距离适中。

b) 线路设计要按照道路连续场景,保持同频连续覆盖,覆盖站址以路边杆站为主。

c) 对于低时延关键应用,如路政、交管等,为了确保数据的低时延、高可靠及安全隐私性,建议采用“硬切片+专线”端到端的专网方案。

d) 高速路或者快速专线子场景需要保证连续覆盖,建议尽量同小区覆盖,以减少移动切换复杂度。

车路协同组网原则示意如图 6 所示。

4.4 定制化网络

定制化网络需根据特定网络需求设计针对性的网络覆盖方案,特别在海量连接工业互联、大上行、低时延等特殊场景,需要具体问题具体分析。其中,高密度高爆发场景的大上行业务,如体育赛事、大型集会的视频直播业务、海量上传等,是无线网络组网方案中挑战较大的特殊场景。针对这类场景,需要解决上行业务的极限需求。

针对特殊场景的需求,无线网络需要满足大上行、低时延等特殊要求。根据当前运营商所掌握的频谱资源及技术能力,可以实施多频网络联合组网以及异构网络异时隙网络的混搭组网,以满足特殊的业务需求。尤其是在狭窄空间或者空间受限情况下,这种组网方式能够应对高爆发大速率等情况。

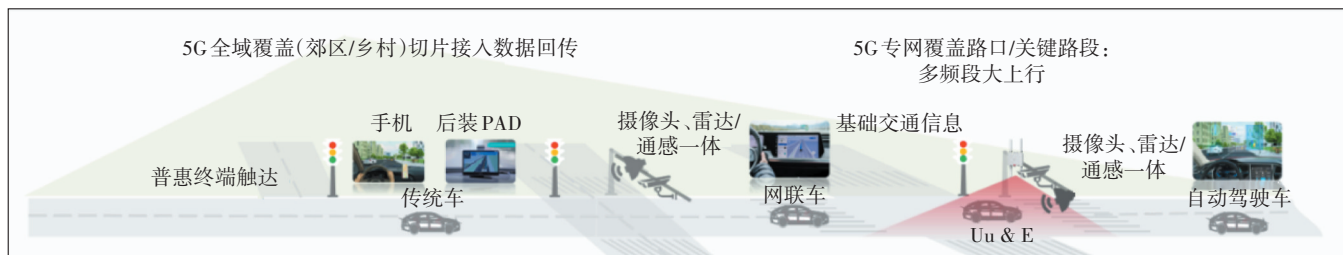


图6 车路协同组网原则示意

a) 合理规划容量设计,尽量采用公网分离的方案,对公共用户及专网用户进行业务分离。

b) 固网、Wi-Fi 等异构网络及异时隙网络联合组网与应用,对专网提供专项能力,保证基础的服务指标能力。

c) 无线网高中低多频段、宏微各类型信源综合覆盖,明确高爆发、大连接、大上行等不同需求,可考虑高中低多种覆盖空间达到全景立体组网效果,合理隔离用户干扰,发挥资源优势。

定制化异构异时隙组网干扰分析如图7所示。

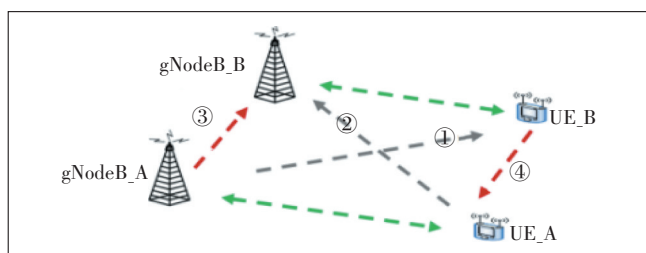


图7 定制化异构异时隙组网干扰分析

5 能力验证

基于上述关于新场景新应用的无线网络组网技术及组网方案原则,对相关方案的可行性进行组网验证测试。验证测试在工人体育场、亦庄车联网示范验证基地、延庆平谷低空经济示范区等场景进行。特别针对通感融合等多维度应用进行了相应的测试评估,相关的测试评估结果如图8所示。

上述测试数据显示,通感融合组网方案能够很好地满足无线网络通信指标,而且还能够提供较好的感知能力指标。感知准确度高达95%以上。

在低空组网方面,利用现网设备及资源进行的示范区测试所得结论及验证指标表明,该方案能够提供

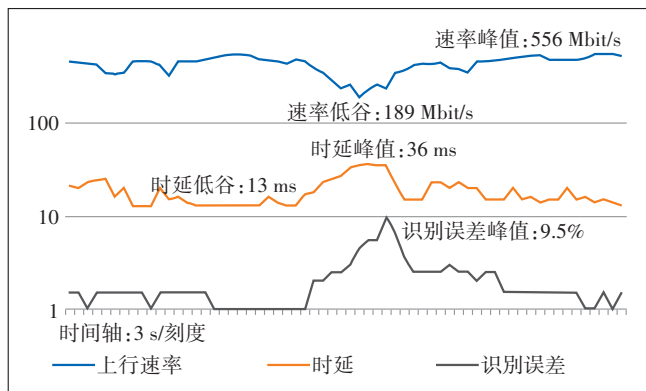


图8 通感融合网络综合评估

较好的无线网络覆盖指标及网络性能。特别是在上行数据的测试验证过程中,它能够稳定、高速的上行速率。300 m 低空现网覆盖能力测试如图9所示。

目前,低空组网技术的现网资源组网验证主要集中在300 m 以内低空区域,对于500 m、1 000 m 的高空区域,仅靠当前网络建设的基础设施,还不能满足其网络覆盖需求。500 m 高空区域网络覆盖电平较低、干扰较强、定向覆盖困难。

在工人体育场实施的大密度高爆发异时隙网络全面组网测试验证过程中,相关覆盖方案按照定制化网络的设计方案原则实施。通过异时隙网络测试评估,获得相关的测试评估数据。该测试方案充分验证了异时隙网络在终端受限且相互干扰环境下的网络指标变化情况,相关测试数据情况如图10所示。各种组网场景下异时隙组网干扰情况如表2所示。

从上述数据可以看出,在异时隙网络组网应用时,室内外交叠覆盖区可借助建筑物特征来隔离AAU和室内信源设备间干扰,尽量满足异时隙组网的隔离度要求。室内/室外间干扰较严重场景或者半室内/半室外覆盖场景,不建议异时隙组网;同时应注意移动终端的分布情况,有效隔离终端间的干扰,合理设置小区边缘区域。

6 结束语

针对5G-A网络当前的技术发展情况及应用实验情况,公众场景的组网方案及相应的覆盖效果已经能够较好地满足用户数字应用需求。但是,在通感融合、低空网络、车路协同、高爆发大上行等特殊应用场景中,当前的组网技术及能力需求之间还存在一定差距。同时这些场景不仅是未来发展的突破点也是重点和难点。本文提出的创新思路及组网原则已经被部分应用所采纳,相应的测试应用结论也证明了其有效性,为未来的发展规划提供了重要的参考依据。

参考文献:

- [1] BRENNER N, LI J Y, MALLADI D, et al. Network densification: the dominant theme for wireless evolution into 5G[J]. IEEE Communications Magazine, 2014, 52(2): 82-89.
- [2] SANDOVAL J I, CÉSPEDES S, GONZÁLEZ A, et al. A deep dive into congestion control and buffer management for fluctuation-prone 5G-A/6G links[C]//2024 7th Conference on Cloud and Internet of Things (CIoT). Montreal: IEEE, 2024: 1-8.
- [3] 李露, 李福昌, 高谦. 5G-A/6G 无线网智能化技术研究[J]. 信息通

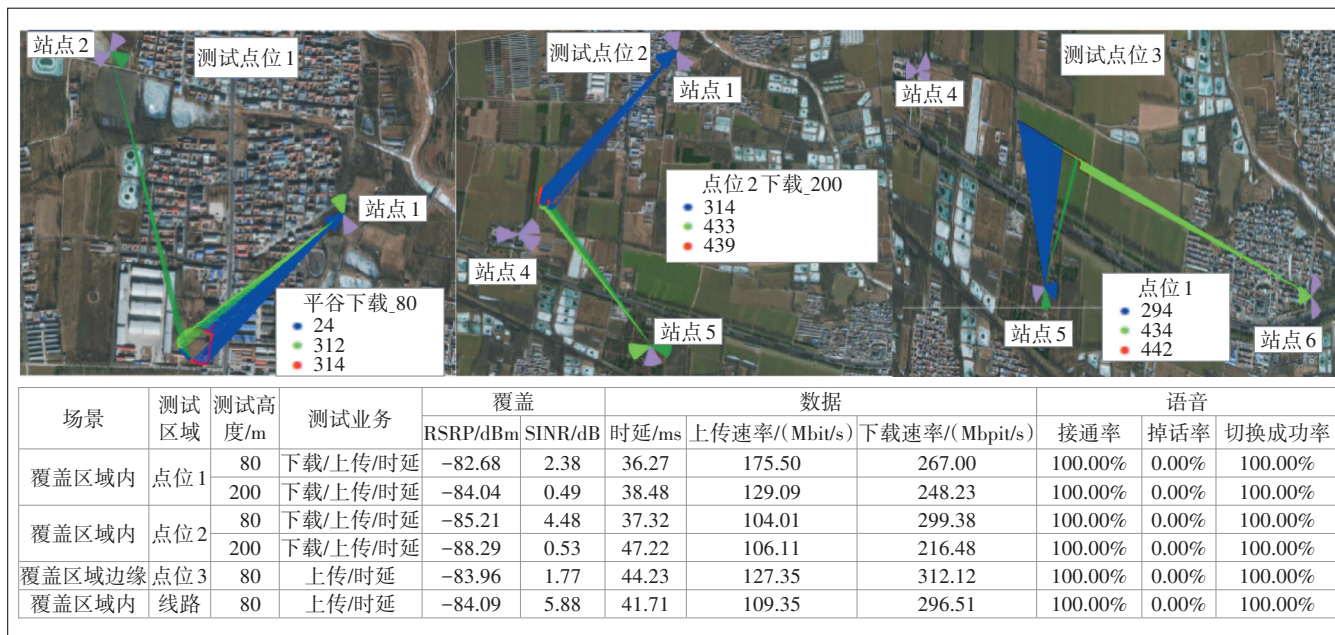


图9 300 m低空现网覆盖能力测试

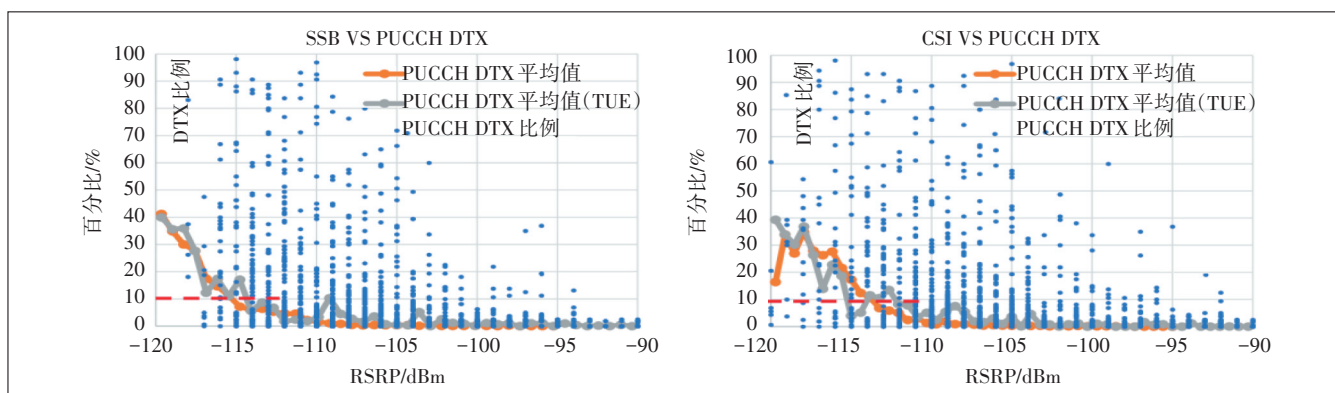


图10 上行控制信道受限评估

表2 各种组网场景下异时隙组网干扰情况

组网场景	室内外				室外				室内			
交叉链路干扰/%	同频上行	同频下行	邻频上行	邻频下行	同频上行	同频下行	邻频上行	邻频下行	同频上行	同频下行	邻频上行	邻频下行
	2~34	32~38	1~3	2~10	2~19	75~86	1~5	19~27	22~49	21~29	5~12	1~4

信技术,2024,18(1):38-43.

- [4] 黄雯邹,邹东伯,栾帅,等.车联网应用场景分析和基于5G-A的组网架构演进[J].电信工程技术与标准化,2024,37(9):8-14.
- [5] 樊明波,张严,李若凡.5G-A通感一体低空通信组网策略研究[J].通信世界,2024(17):32-36.
- [6] 李福昌,王伟.5G高低频组网协同机制与策略[J].中兴通讯技术,2022,28(4):3-6.
- [7] 李福昌,吕婷,曹亘,等.5G-A/6G绿色低碳技术现状及发展趋势[J].信息通信技术,2023,17(4):32-38.
- [8] 杨艳,张忠皓,马静艳.6G通信感知一体化架构与技术研究[J].电子技术应用,2021,47(9):1-4,15.

- [9] 裴郁杉,张忠皓,王婷婷.空地一体化通信网络发展愿景与挑战[J].邮电设计技术,2020(4):15-20.
- [10] 张嘉慧,王新奕,费泽松,等.6G通感融合网络中的物理层安全:机遇与挑战[J].移动通信,2023,47(3):55-61.

作者简介:

蔡凯,高级工程师,硕士,主要研究方向为移动通信网络优化;肖瑞,高级工程师,硕士,主要研究方向为移动通信网络优化;王蕾,高级工程师,硕士,主要研究方向为移动通信网络优化;曾伟,高级工程师,硕士,主要研究方向为移动通信网络优化。