



工程与应用

低空通信网络优化研究

殷哲

(中国通信建设集团设计院有限公司第四分公司, 河南 郑州 450052)

摘要: 低空经济作为新质生产力的重要代表, 正通过无人机物流、城市巡检、应急救援等场景推动社会数字化转型。以5G/5G-Advanced为代表的移动通信技术, 凭借超高带宽、超低时延与精准可控的网络能力, 成为低空通信网络的核心支撑。然而, 由于低空场景的特殊性, 低空通信网络优化面临覆盖、干扰与移动性管理的多重挑战。聚焦空地一体低空通信网络的优化问题, 系统分析了典型覆盖方案与协同优化瓶颈, 并提出针对性解决方案。

关键词: 低空经济; 低空通信网络; 网络优化; 5G

中图分类号: TN929.53

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2026022

Research on optimization of low-altitude communication networks

Yin Zhe

Branch Four, China International Telecommunication Construction Group
Design Institute Co., Ltd., Zhengzhou 450052, China

Abstract: As an important representative of new quality productive forces, the low-altitude economy is driving societal digital transformation through scenarios such as drone logistics, urban inspection, and emergency rescue. Mobile communication technologies represented by 5G/5G-Advanced, with their ultra-high bandwidth, ultra-low latency, and precisely controllable network capabilities, have become the core support for low-altitude communication networks. However, due to the unique characteristics of low-altitude scenarios, the optimization of low-altitude communication networks faces multiple challenges in coverage, interference, and mobility management. The optimization of integrated air-ground low-altitude networks was focused on, typical coverage schemes and collaborative optimization bottlenecks were systematically analyzed, and targeted solutions were proposed.

Key words: low-altitude economy, low-altitude communication network, network optimization, 5G



0 引言

低空经济已成为新质生产力的重要代表，低空领域的应用日益广泛，涵盖了无人机物流、低空旅游、农业植保、应急救援等多个重要领域，发展低空经济成为推动国家经济社会高质量发展的内在要求和重要着力点。随着低空经济持续发展，空中交通管理、数据传输和通信服务需求不断增加，亟须以传统地面无线网络为基础构建空地一体低空通信网络，确保低空活动安全、高效运行。

5G移动通信技术能够提供更快的数据传输速率、更低的时延和更广泛的设备连接，可满足低空网联终端（如无人机、飞行汽车等）实时控制、航空交通高效管理以及紧急响应等复杂通信需求。随着5G进一步演进，网络性能更加出色，空地一体网络可将5G多种技术手段扩展应用于低空，更好地满足低空飞行业务数据传输和空域管理需求^[1]。

同时，低空覆盖场景由于其立体性与视距传播等特性，对5G/5G-Advanced（5G-A）网络的覆盖、干扰抑制与移动性管理提出了前所未有的挑战。

本文首先介绍了低空5G通信网络的典型覆盖方案，然后描述了现有通信网络部署中面临的协同优化挑战，最后给出了低空覆盖建议优化方案，旨在为低空网络的协同优化提供科学依据和具体建议。

1 低空通信网络典型覆盖方案

1.1 低空通信典型需求

低空通信网络适用的场景关键是满足无人机300 m以下、上下行25 Mbit/s高清视频传输需求。

在低空物流运输、城市巡检、安防监控等领域，对无人机网联通信有强烈需求，主要需求是在无人机与控制器间进行数据传输（数传）或图

像传输（图传）^[2]。

（1）数传：传输无人机飞行控制和飞行状态等信息，数据包小，但对网络连续稳定覆盖、传输时延和可靠性要求极高。通常飞控类数传的端到端时延需求小于60 ms，速率需求为几百kbit/s^[3]。

（2）图传：传输无人机摄像头采集到的图像和视频等信息，图传数据以上行为主，对于1080P和4K分辨率视频的典型速率要求分别为5 Mbit/s和25 Mbit/s。

低空典型场景通信需求见表1，介绍了几种低空典型场景飞行高度和通信需求。

表1 低空典型场景通信需求

低空典型场景	飞行高度/m	上行带宽需求	端到端时延需求/ms
外卖配送	<120	5 Mbit/s@1080P	60
物流运输	120~300	5 Mbit/s@1080P	100
城市巡检	<300	25 Mbit/s@4K	200
安防监控	<300	25 Mbit/s@4K	200

1.2 典型低空通信覆盖方案

以中国电信为例，为了避免低空干扰，采用的是异频组网方案，低空异频专网覆盖方案如图1所示，地面大网使用3.5 GHz第一载波，低空覆盖使用3.5 GHz第二载波异频混合组网^[4]。

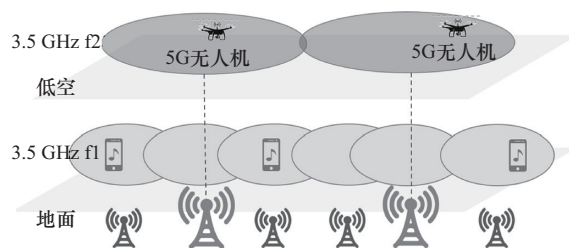


图1 低空异频专网覆盖方案

采用空地异频组网具有以下优势。

（1）低空专网异频隔离：公网与专网间无同频干扰，无人机专网体验好。

(2) 随时随地起飞：起飞阶段，基于业务从3.5 GHz地面载波切换到3.5 GHz低空载波；低空飞行阶段，保持3.5 GHz同频的移动性；降落阶段，基于覆盖进行异频切换^[5]。

(3) 简化邻区和互操作策略：地面小区维护地面和低空关系，低空小区维护低空覆盖^[6]。

(4) 地空专用设备：可灵活调整低空设备覆盖倾角，保障覆盖高度。例如，采用超宽垂直波瓣智能赋形天线，通过动态调整天线阵列的相位与幅度，实现垂直方向波束倾角0°~60°可调。信号可定向覆盖100~1 000 m低空空域，解决传统基站“塔顶盲区”问题。

2 低空通信网络优化面临的挑战

构建空地一体低空通信网络涉及地面小区与低空小区的综合布局与协调管理，这一复杂系统要求在对各类小区进行独立配置、管理和优化的同时，满足不断变化的通信需求并确保网络整体的鲁棒性。低空通信网络优化中常见的挑战有空地间网络干扰挑战、移动性管理挑战、越区覆盖挑战等^[7]。

2.1 空地网络干扰挑战

低空无人机视距传播时，接收小区数更多，从而导致干扰更大。低空网络如果与地面网络同频部署，地面基站的上旁瓣会对低空无人机用户

产生下行干扰^[8]，包括同步信号块（SSB）干扰以及业务信道干扰。低空无人机用户的上行发射也会对地面基站产生上行干扰。另外，地面邻区用户也可能对无人机产生上行干扰^[9]。

干扰示意图如图2所示，空地间干扰一般分为以下3种。

(1) 地面基站对无人机下行干扰

无人机在低空可视距接收多个地面邻基站的下行信号，地面邻区对无人机下行接收产生干扰。

(2) 无人机对地面基站上行干扰

地面用户主要由地面基站主瓣覆盖，低空无人机主要由地面基站上旁瓣覆盖，邻区上行也通过旁瓣接收无人机的上行信号（LOS），低空无人机会对地面邻区用户的上行接收产生干扰。

(3) 地面邻区用户对无人机上行干扰

无人机服务小区通过主瓣接收地面邻区用户的信号，主瓣增益大，地面邻区用户容易干扰无人机上行。

此场景干扰跟低空无人机无关，无人机服务小区受地面邻区用户上行干扰本身就存在，且随用户的增加，干扰越来越大^[10]。

飞行高度和邻区数对比如图3所示，随着无人机飞行高度增加，接收到的地面邻区数也会增加，干扰也随之增大。

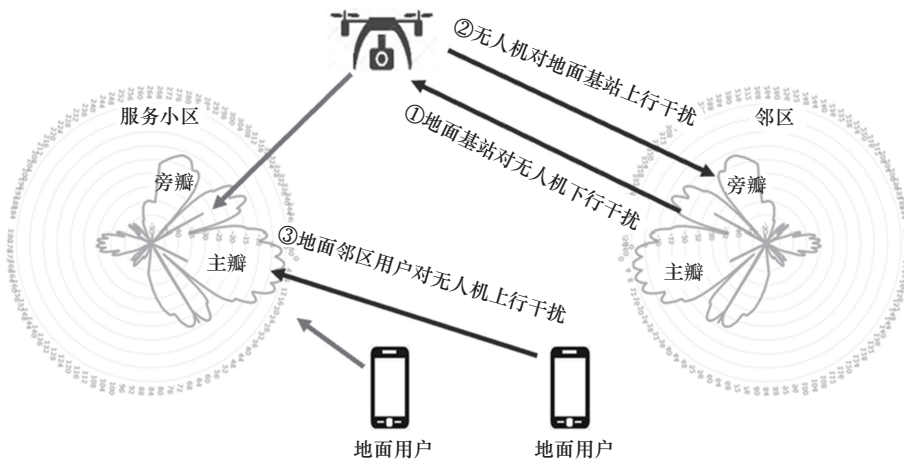


图2 干扰示意图

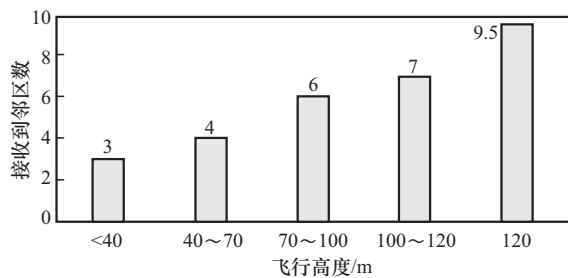


图3 飞行高度和邻区数对比

2.2 移动性管理优化挑战

现有无线网络的移动性策略是基于地面网络的二维平面覆盖设计的，而低空网络是三维立体覆盖，因此移动性也更为复杂。另外单个低空基站和单个地面基站的覆盖范围不同，使得空地基站之间的邻区关系配置极其复杂，邻区关系配置需要从仅配置二维邻区拓展到配置三维立体邻区。而且对空小区半径远大于对地小区半径，因此亟须研究空地一体网络立体覆盖下的移动性管理策略，使得网络能够快速响应，避免通信中断和时延，确保高质量的用户体验^[1]。

旁瓣覆盖问题如图4所示，定向天线有多个旁瓣，两个旁瓣间的间隔称为天线零位，天线零位将旁瓣相互分开，天线零位几乎不发射无线电波。地空兼顾覆盖场景下，低空由旁瓣覆盖，导

致终端参考信号接收功率（reference signal receiving power, RSRP）较低，信号杂乱会导致乒乓切换。

当无人机在服务小区天线零位区域时，主服务小区不明确，此时可能被其他小区的旁瓣覆盖，从而发生切换。主服务小区频繁切换，即在低空通信网络中，在无人机移动场景下，产生“天线零位区引发旁瓣切换”的现象，无人机在零位区反复尝试切换，但旁瓣信号不稳定。物理小区标识（physical cell identifier, PCI）密集跳变，暴露频繁切换请求，消耗空口资源并增加时延。以上现象会增大无人机飞行中业务中断风险，同时降低定位精度。

2.3 越区覆盖挑战

2.3.1 邻区漏配：覆盖范围失控引发切换盲区

邻区漏配（neighbor cell misconfiguration）指基站的邻区表中未正确配置相邻小区的标识信息（如PCI、频点等），导致终端在移动过程中无法及时发现目标小区，最终因无法切换而掉线。

越区覆盖会导致低空基站信号因高度优势覆盖到设计范围外的区域（如跨越多个行政区域或地形障碍），但邻区表未及时更新，导致终端进

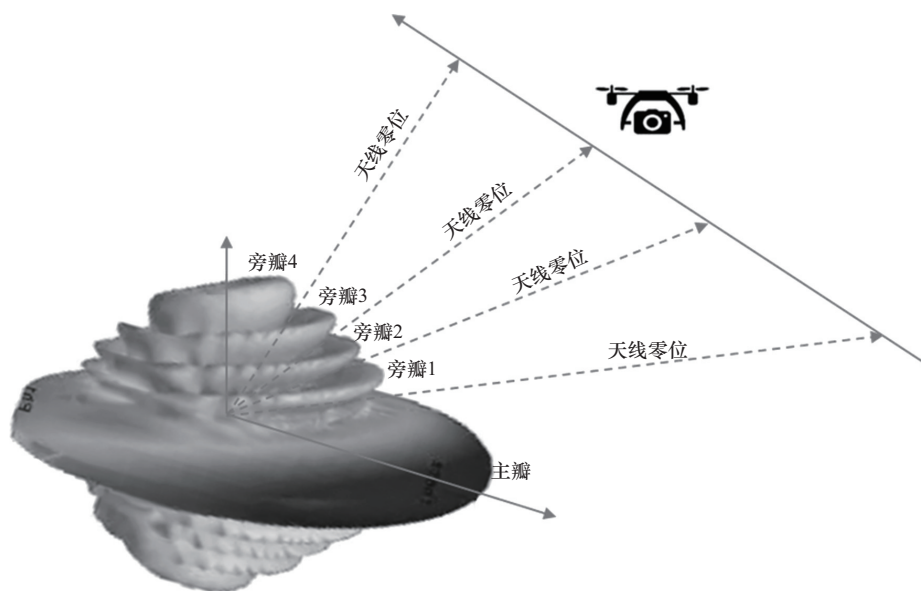


图4 旁瓣覆盖问题

入越区覆盖区域时，原基站（服务小区）和目标基站（邻区）均未建立邻区关系^[12]。

同时，低空飞行器的快速移动（如无人机速度达 100 km/h 以上时）要求邻区关系实时更新，但传统静态邻区表难以适应越区覆盖带来的动态覆盖变化。

终端在飞行中进入越区覆盖区域后，因无法识别邻区信息，只能依赖当前基站维持连接，直至信号强度骤降导致断连。

2.3.2 邻区表内 PCI 冲突或混淆：越区覆盖引发标识混乱

PCI 是区分不同基站或小区的唯一标识符。PCI 冲突指两个或多个相邻小区使用相同 PCI，导致终端无法正确解析信号，引发解调失败或切换错误。

越区覆盖可能使原本设计为非邻接的小区信号在空中交汇（如基站 A 覆盖到基站 B 的越区信号），若两者 PCI 相同，则引发混淆，导致覆盖重叠区域的 PCI 规划失效。

越区覆盖还可能存在动态覆盖下的 PCI 复用风险：5G 网络依赖 PCI 的复用（Reuse）来节省标识资源，但在低空环境中，越区覆盖可能使 PCI 复用距离不足，导致冲突概率上升。PCI 冲突引发的随机接入冲突（如 RACH 碰撞）会消耗大量控制信道资源，降低网络效率。

2.3.3 具体场景示例

某市低空示范网，无人机飞行高度：280 m；无人机航程：8.5 km；占用 5G 小区数：68 个；切换测试：131 次。某市低空示范网信号现状如图 5 所示，图 5（a）表示区域内小区分布和天线方向图，图 5（b）表示路测的 RSRP 情况，图 5（c）表示路测的信号与干扰加噪声比（signal to interference plus noise ratio, SINR）情况。

由图 5（a）可以看出，此区域内小区密集，覆盖范围重叠较多，越区覆盖问题严重。另外图 5（c）的 SINR 值小于 -3 dB 的路段较多，表明此区域信号干扰严重，通信质量不佳。

3 低空通信网络优化方案

3.1 低空覆盖优化流程

低空通信网络测试优化需要提前准备优化资源，包括无人机协调、飞手安排、测试空域申请等。低空覆盖优化流程如图 6 所示。

（1）网络规划：根据地形地貌参数（建筑物密度、植被覆盖、海拔等）、基站参数（天线挂高、下倾角、设备类型等）、空域特性参数（飞行高度、无人机移动速度等），同时结合仿真软件（如 ATOII 等），输出低空覆盖专项规划方案，并进行组网。

（2）网络测试：无人机携带有自动测试功能

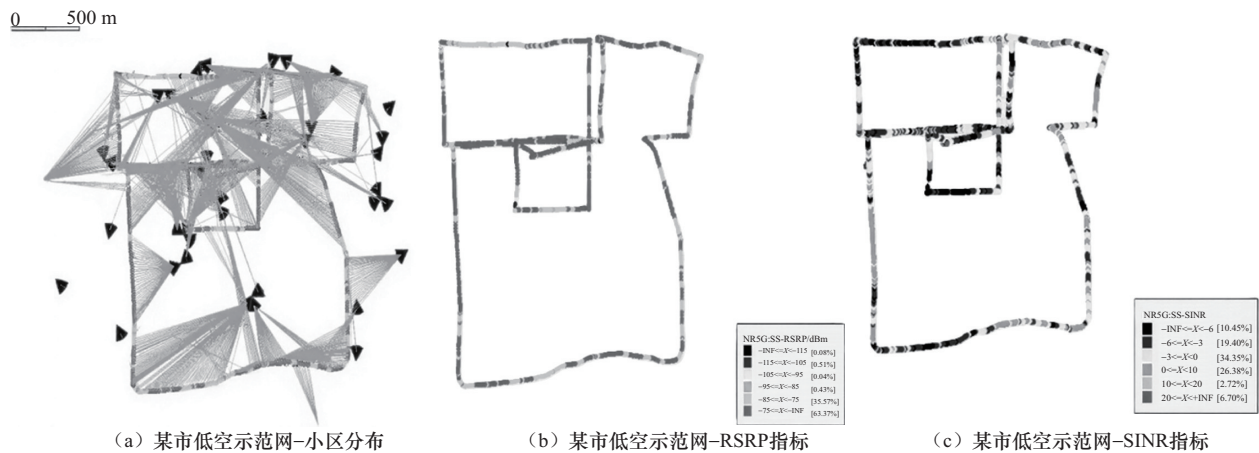


图5 某市低空示范网信号现状



的终端模拟相关业务进行上行灌包测试。

(3) 测试数据分析：测试完成后导出 log，用路测后台软件进行分析，导出主邻小区 PCI、SSB Index、RSRP、SINR、飞行高度、速率等信息，分析干扰、移动性、越区覆盖等情况。

(4) 空地干扰分析：如果存在干扰，通过小区间干扰协同、站间波束管理、空地异频组网等策略规避。

(5) 移动性问题分析：如果存在移动性问题，可通过对低空和地面采取不同移动性策略，并在无人机各阶段采取不同的移动性保障措施，同时设置合理的互操作参数来解决。

(6) 越区覆盖问题分析：如果越区覆盖现象严重，可通过调整工程参数和后台参数优化。

(7) 调整参数复测：根据分析，调整波束角度、优化邻区关系、移动性参数后，进行复测和再分析，进行迭代优化。

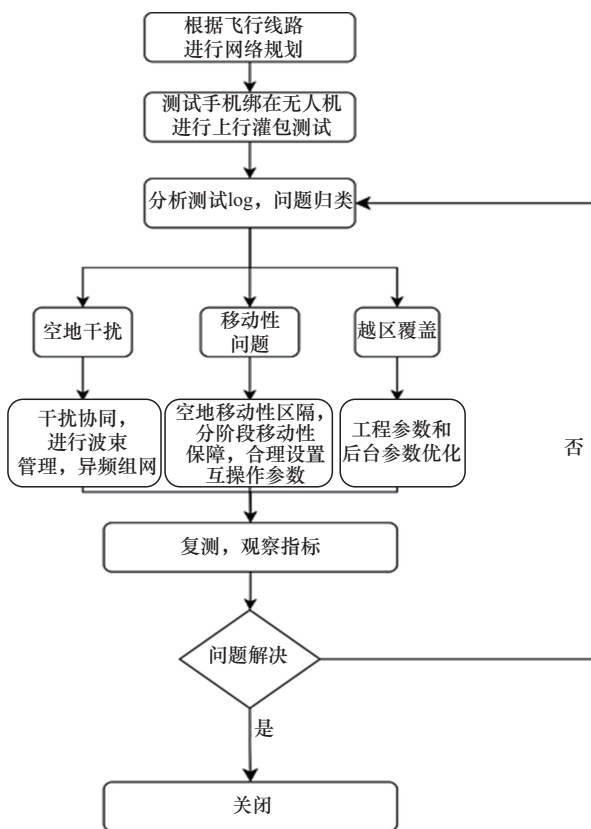


图6 低空覆盖优化流程

3.2 低空覆盖空地干扰优化方案

3.2.1 干扰协同降低干扰

(1) 联合发送 (JT)

联合发送示意图如图7所示，受扰小区与施扰小区通过光纤互联实现跨站交互，对用户设备 (user equipment, UE) 进行联合数据发送，将施扰站干扰信号变为有用信号。

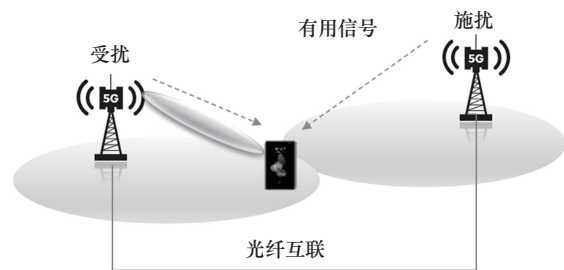


图7 联合发送示意图

(2) 联合接收 (JR)

联合接收示意图如图8所示，邻区间通过光纤互联实现跨站交互协作接收数据，引入交换机可进一步拓展至多个基站协作。发送到请求小区进行数据合并，达到提升上行链路 (UL) 接收性能的目的。物理层 (PHY) 数据需要实时合并，对交互带宽和时延有较高要求。

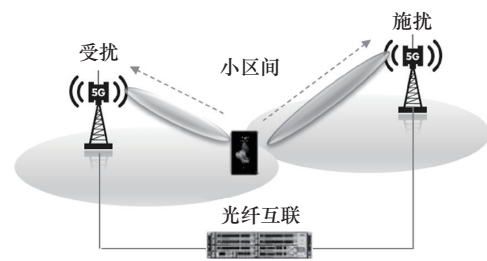


图8 联合接收示意图

(3) 联合波束成形 (CBF)

联合波束成形示意图如图9所示，施扰小区测量邻区业务小区的 UE 探测参考信号 (sounding reference signal, SRS)，确定网络函数 (network function, NF) 的 UE 位置权值，施扰小区业务波束避开协作 UE 方向，达到从干扰源侧进行干扰消除的效果。



图9 联合波束成形示意图

(4) 协同调度技术 (CS)

协同调度技术示意图如图 10 所示，小区间需要交互 UE 调度信息，邻区 UE 调度时需要规避开请求小区调度边缘 UE 的 RB 资源位置。在邻区负荷较高时，协同调度技术对邻区影响较大。

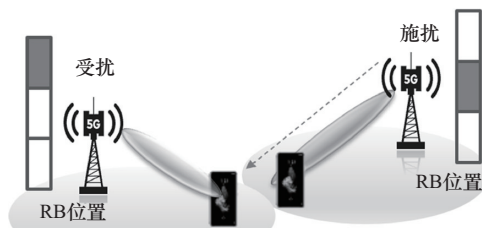


图10 协同调度技术示意图

3.2.2 站间波束管理

协调站间波束指向时分错开是低空 5G 通信网络干扰优化的核心方案之一，其核心思路是通过基站间的协同调度，在时间维度动态错开相邻基站的波束覆盖区域。站间波束管理示意图如图 11 所示，通过时分复用 (TDD) 机制，相邻基站在不同时段发射波束，错开信号传输时间窗口，从而减少同频信号的重叠干扰。

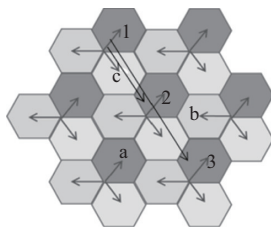


图11 站间波束管理示意图

3.2.3 空地异频组网

空地异频组网示意图如图 12 所示，地面覆盖使用一个频段，低空覆盖使用另一个频段，异

频组网，规避地面站对无人机的下行干扰，同时也规避了无人机对地面站的上行干扰。



图12 空地异频组网示意图

3.3 低空覆盖移动性管理优化方案

3.3.1 低空和地面采用两套不同的移动参数和策略

低空和地面采用两套不同的移动参数如图 13 所示，实现业务识别和简化邻区。

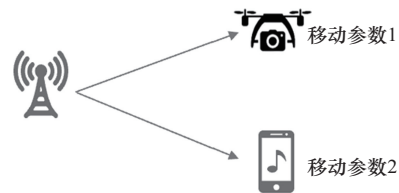


图13 低空和地面采用两套不同的移动参数

(1) 业务识别：基于频率选择优先级 (RFSP) 识别无人机 UE，基于 5G 服务质量标识 (5G QoS identifier, 5QI) 识别区分低空飞行和控制业务，设置和地面不同的移动性策略。

(2) 极简邻区：低空专网采用极简邻区维护，专网邻区互配，仅在起降区域地面和低空互配邻区。安全性好，运维简单。

3.3.2 低空飞行的阶段移动性保障策略

低空飞行的阶段移动性保障策略如图 14 所示，在无人机从起飞到降落的不同阶段采用不同的移动性策略，以提高通信质量。

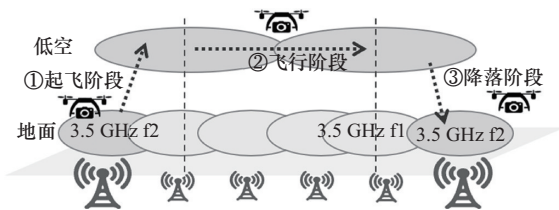


图14 低空飞行的阶段移动性保障策略



(1) 起飞阶段, 采用基于业务的异频切换尽快切换至低空覆盖频层。

(2) 飞行阶段, 采用基于覆盖同频切换策略, 保持在专用频层。

(3) 降落阶段, 采用基于覆盖的异频切换入地面覆盖频层。

另外, 对于无人机固定起降点的场景, 建议全程专网覆盖, 避免异频切换。

3.3.3 添加低空小区属性标签

增加“低空”小区属性标签, 支持站间小区属性的自动交互。

添加低空小区属性标签如图 15 所示, 针对“低空”属性小区单独配置移动性策略, 让无人机终端优先在“低空”属性小区驻留和切换。

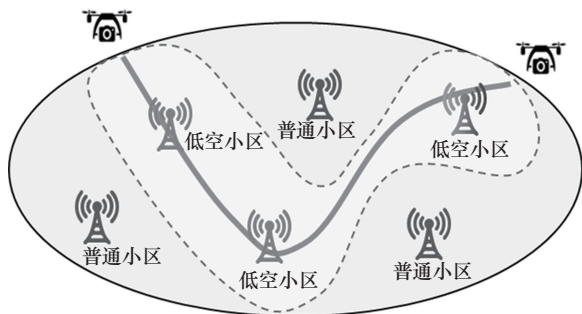


图 15 添加低空小区属性标签

3.3.4 配置 3.5 GHz 与其他频段和制式的互操作

通过基于无人机用户的互操作策略, 实现无人机终端在低空网络“易入难出”, 减少对地面网络的影响。

对于地面用户, 需保障其在空地一体基站的地面小区和普通地面站间平滑切换。在低空小区配置为专网时, 禁止普通地面用户迁移到低空专网小区。

对于低空用户, 起飞阶段需采用定向切换, 将低空终端尽快迁移至低空小区。飞行阶段优先使用同频切换, 尽量使低空无人机保持在低空小区。降落阶段基于覆盖切换, 当覆盖变差时迁移至地面公网小区。

使用 5QI+网络切片区分地面用户和低空用户, 通过 5QI 和网络切片对不同用户配置不同的切换门限、切换迟滞, 兼顾大网覆盖建议互操作策略见表 2。

表 2 兼顾大网覆盖建议互操作策略 (单位: dBm)

状态	源小区	目标小区	业务类型	A1	A2
连接态	地面载波	低空载波	地面大网业务- 基于覆盖	-102	-105
			低空无人机业务	-75	-80
	低空载波	地面载波	地面大网业务- 基于覆盖	-102	-105
			低空无人机业务	-95	-100

注: A1-服务小区质量高于某个阈值; A2-服务小区质量低于某个阈值

为了实现以上策略, 基站需首先区分地面用户和低空用户, 可以为低空用户配置不同的无线频率选择优先级 (RFSP) 或 5G 服务质量标识 (5QI) 等标识区别于地面用户。区分出用户后, 基站可针对低空和地面用户配置不同的互操作参数。低空专网与公网互操作如图 16 所示, 需要为 3.5 GHz 公网地面站、LTE 地面站与 3.5 GHz 低空异频站之间针对不同用户配置不同的重选和切换参数。保障低空业务可快速占用低空网络, 但占用后难以向地面公网发起切换, 即实现低空业务“易上难下”的目标。通过优化互操作参数, 可以实现 5G 低空网络与地面 5G 公网间的虚拟隔离, 形成 5G 低空虚拟专网, 保障无人机等低空终端业务体验。

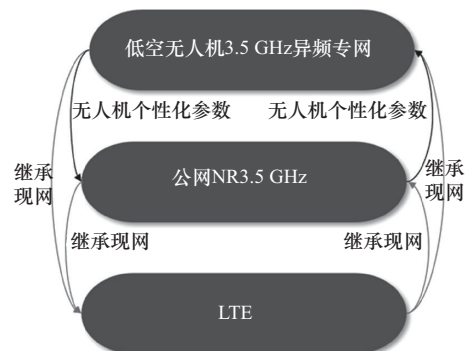


图 16 低空专网与公网互操作

3.4 低空覆盖越区覆盖优化方案

越区覆盖优化需要对基础测试数据分析，结合网络拓扑结构、基础工参及参数配置，对网络覆盖问题产生的原因进行深入分析，针对空域特性制定相应的优化解决方案。5G NR 空域覆盖优化方法思路如下。

(1) 工程参数调整

机械和电子下倾角、机械方位角、有源天线单元 (active antenna unit, AAU) 天线挂高、AAU 位置调整等。

(2) 参数配置优化

资源元素 (resource element, RE) 参考信号功率、邻区、切换门限、乒乓切换抑制等基础参数调整优化。

(3) 波束管理优化

广播波束权值方位角、下倾角、水平波束宽度和垂直波束宽度等权值四维组调整优化。

越区覆盖优化参数调整建议见表 3。

表 3 越区覆盖优化参数调整建议

优化类型	参数类型	参数调整建议
工程参数类	机械方位角	优先进行机械方位角和下倾角保证覆盖的连续性
	机械下倾角	
后台参数类	小区发射功率	建议按照 AAU 功率最大化配置
	波束下倾角	根据实际情况进行调整
	水平波束宽度	对于旁瓣覆盖较强区域，可调整为 45°广播权，默认按照 65°广播权配置
	垂直波束宽度	默认 6°配置

某市低空物流园区，原有通信网络越区覆盖现象严重，通过调整重叠覆盖区涉及基站的方位角，并将部分基站小区波宽由 65°调整至 45°，天线仰角增加 3°，小区发射功率降低 20%。经优化后同频干扰减少 60%，重叠覆盖区域由 9 个减少为 2 个，切换成功率从 82% 提升至 98%，SINR > 6 dB 小区占比由 49% 提升至 89%。

4 结束语

低空通信网络作为低空经济的核心基础设

施，其性能优化直接影响无人机、飞行汽车等应用的安全性与效率。本文基于 5G/5G-A 技术框架，系统研究了低空网络优化的干扰协同与移动性管理等难题，提出空地异频组网、联合波束调度、三维邻区策略等创新方案。通过实际场景验证，所提方法显著提升了网络抗干扰能力与业务连续性，为低空通信从试点验证走向大规模商用奠定了技术基础。然而，未来仍需突破三方面挑战：其一，6G 通感算一体化技术需进一步融入低空网络架构，实现动态空域感知与资源分配的闭环控制；其二，全球频谱标准碎片化问题亟待解决，需推动跨区域协同的频段规划与设备认证体系；其三，AI 驱动的自治网络将成为关键方向，需构建基于数字孪生的低空网络智能优化平台。随着技术迭代与政策协同，低空通信网络将加速赋能立体交通、智慧城市与绿色经济，开启“万物智联”的新篇章。

参考文献：

- [1] 黄若尘, 夏重阳, 刘一君, 等. 基于 5G-A 的低空无线网部署策略研究[J]. 通信技术, 2025, 58(2): 157-163.
Huang R C, Xia C Y, Liu Y J, et al. Research on deployment strategy of low altitude wireless network based on 5G-A[J]. Communications Technology, 2025, 58(2): 157-163.
- [2] 刘牧洲, 席绪亚, 关蕾, 等. 5G 网联无人机系统应用的关键问题[J]. 信息通信技术, 2023, 17(5): 15-21.
Liu M Z, Xi X Y, Guan L, et al. Crucial problems of 5G connected unmanned aerial vehicle(UAV) system applications[J]. Information and Communications Technologies, 2023, 17(5): 15-21.
- [3] 褚轩. 无人机数据链关键技术设计与验证[D]. 重庆: 重庆邮电大学, 2022.
Chu X. Design and verification of key technologies of UAV data link[D]. Chongqing: Chongqing University of Posts and Telecommunications, 2022.
- [4] 中国电信. 空地一体 5G 增强低空网络白皮书 (2024)[R]. 2024.
China Telecom. 5G enhanced low altitude network white paper for air and ground integration (2024)[R]. 2024.
- [5] 杭小飞, 汪滋润. 泛低空 5G 专网中无人机巡检应用研究与实



- 践[J]. 江苏通信, 2024, 40(3): 28-32.
- Hang X F, Wang Z R. Application research and practice of UAV patrol inspection in pan-low altitude 5G private network[J]. Jiangsu Communication, 2024, 40(3): 28-32.
- [6] 魏明烁, 谢伟良. 低空 3.5 GHz 双载波网络覆盖解决方案研究[J]. 电信科学, 2025, 41(3): 87-95.
- Wei M S, Xie W L. Research on the coverage solution of the dual-carrier network at 3.5 GHz in low-altitude areas[J]. Telecommunications Science, 2025, 41(3): 87-95.
- [7] 于金杨, 张吉, 李晶, 等. 空地一体通信网络构筑低空经济底座[J]. 信息通信技术与政策, 2024(11): 11-17.
- Yu J Y, Zhang J, Li X, et al. Air-ground integrated communication network builds the foundation for low-altitude economy[J]. Information and Communications Technology and Policy, 2024 (11): 11-17.
- [8] 张杰. FSO 在低空网络中的应用探究[J]. 通信世界, 2025(3): 32-35.
- Zhang J. Application of FSO in low-altitude network[J]. Communications World, 2025(3): 32-35.
- [9] 赵建先, 阮肖宾. 5G 通信面向无人机物联网低空覆盖组网探讨[J]. 广西通信技术, 2022(4): 1-8.
- Zhao J X, Ruan X B. 5G communication is oriented towards UAV Internet of things low-altitude coverage networking exploration[J]. Guangxi Communication Technology, 2022(4): 1-8.
- [10] 王俊杰, 王迪, 申奇, 等. 基于 5G 地面公网发展面向网联无人机的低空网络: 分析与挑战[J]. 中兴通讯技术, 2024: 1-12.
- Wang J J, Wang D, Shen Q, et al. Development of air coverage of terrestrial network based on 5G network: analysis and challenges[J]. ZTE Technology Journal, 2024: 1-12.
- [11] 费明, 朱志浩, 田梦晗, 等. 低空 5G-A 通感一体化网络优化方案与策略研究[J]. 电信工程技术与标准化, 2025, 38(3): 24-30.
- Fei M, Zhu Z H, Tian M H, et al. Research on the optimization scheme and strategy of low-altitude 5G-a all-sensing integrated network[J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2025, 38(3): 24-30.
- [12] 周娇, 李新, 曹蕾, 等. 一种低空立体组网场景下简化的下行干扰模型[J]. 电信科学, 2025, 41(3): 52-63.
- Zhou J, Li X, Cao L, et al. A simplified downlink interference model for low-altitude three-dimensional networking scenarios[J]. Telecommunications Science, 2025, 41(3): 52-63.

[作者简介]



殷哲 (1987-), 男, 中国通信建设集团设计院有限公司第四分公司高级工程师, 主要研究方向为移动通信网络规划和优化领域。