 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v6i5.5673

Research and application practice of low-altitude coverage scheme for 5G network

Yang Yu

China United Network Communications Co., Ltd. Jiangsu Branch, Nanjing, Jiangsu, 210019, China

Abstract

This paper addresses the complexity of 5G low-altitude network coverage, taking into account the application needs of the low-altitude industry in agriculture, logistics, and security. It systematically analyzes the handover issues caused by the dynamic height of drones and the interference problems due to line-of-sight propagation in low-altitude coverage. The paper proposes differentiated networking schemes based on shared network sharing, dedicated network sharing, and dedicated network usage. Through wave antenna isolation, optimization of handover parameters, and performance tuning, efficient coverage and interference suppression in low-altitude networks are achieved. Research shows that 5G networks can meet the high bandwidth and low latency requirements of drone services under the dedicated network mode through adaptive modifications of existing infrastructure, suitable for initial deployment of lightweight services under the shared network sharing mode. This provides reliable communication support for the development of the low-altitude economy.

Keywords

5G low-altitude network; overlapping coverage; line-of-sight

5G 网络低空覆盖方案研究与应用实践

于洋

中国联合网络通信有限公司江苏省分公司，中国 · 江苏 南京 210019

摘　要

本文针对5G低空网络覆盖的复杂性，结合低空产业在农业、物流、安防等领域的应用需求，系统分析了低空覆盖中因无人机高度动态化引发的切换问题与视距传播导致的干扰问题，提出了基于共网共用、共网专用及专网专用模式的差异化组网方案。通过波天线隔离、切换参数优化、性能调优，实现了低空网络的高效覆盖与干扰抑制。研究表明，5G网络可通过现有基础设施的适应性改造，满足共网共用模式适用于轻量级业务初期部署和专网模式下无人机业务的高带宽、低时延需求，为低空经济发展提供可靠通信保障。

关键词

5G低空网络；重叠覆盖；视距

1 引言

随着低空经济政策的开放与无人机应用的普及，低空网络覆盖成为 5G 技术的重要应用场景。低空产业在农业、物流、安防等领域展现出巨大潜力，但其通信需求与传统地面网络存在显著差异：空中信号传播以视距（LOS）为主，覆盖高度动态化，且需兼顾地面用户干扰。

本文旨在研究 5G 低空网络组网方案，通过分析覆盖挑战、优化技术路径及组网模式，提出系统性解决方案，为低空网络的高效部署提供理论支撑。研究范围涵盖覆盖模式设计、传播模型修正、干扰抑制策略及现网适配性验证，具有重要的工程实践价值。

【作者简介】于洋（1983–），男，中国山东青岛人，本科，高级工程师，从事移动通信和信息技术研究。

2 低空网络覆盖的核心挑战

2.1 切换问题

低空网络覆盖因无人机高度动态变化导致小区关联复杂化。地面基站主波束指向小区边缘，旁瓣覆盖低空区域，但天线零位区域易引发非邻近小区切换。

测试表明，300 米高空无人机可接收 2.5km 外基站信号，导致重叠覆盖率升高、PCI 切换频繁，速率波动与掉线率显著增加。

此外，邻区关系随高度变化动态调整，传统邻区规划难以适配，亟需优化切换机制。

2.2 干扰问题

2.2.1 网络干扰问题

无人机低空飞行时，无线信号因视距传播无遮挡，导致更多基站接收其上行信号并检测邻区下行信号，引发邻区

数量增加及重叠覆盖，从而加剧干扰。实测数据显示，相同的 RSRP,300 米低空的 SINR 值比地面的差 10dB。表明相同信号强度下，高空信号质量显著下降，主因是邻区干扰增强。

2.2.2 用户干扰问题

无人机对地面用户的上行干扰较小，因地面用户由基站主瓣覆盖，而无人机由旁瓣覆盖，邻区接收干扰信号增益较低。反之，地面用户对无人机的干扰更严重：无人机基站通过主瓣接收邻区地面用户的上行干扰信号（增益较高），干扰强度随地面 5G 用户数量增加而上升，可能导致无人机业务异常。实测显示，无人机对邻区用户的干扰比地面用户间干扰低约 10dB，但无人机对地面用户干扰的敏感性更高，需重点关注地面用户规模增长带来的潜在风险。

3 低空网络组网方案设计

3.1 覆盖模式

根据业务需求与成本效益，提出三种组网模式：

共网共用模式：无人机与地面用户共享物理及逻辑网络，成本低但服务质量受限，适用于轻量级业务场景；

共网专用模式：物理网络共享，逻辑网络独立，通过 QoS 保障提升无人机业务性能，适用于中等规模应用；

专网专用模式：独立建设物理专网，实现网络资源独享，保障超高可靠性，适用于载人无人机等关键场景。

3.2 区域覆盖方案

城镇区域：Massive MIMO 基站成为低空网络覆盖的核心载体。通过优化波束设计，实现“主波束服务地面用户、旁瓣覆盖低空区域”的共网共用模式。传统基站因抑制上旁瓣增益导致低空信号不足，为此需引入新型波束赋形技术，增强旁瓣增益，既满足低空无人机的通信需求，又避免地面用户体验受损。此外，针对无人机飞行热点区域（如物流集散点、交通枢纽）或信号盲区，按比例增设低空水平覆盖专用站，形成“基础覆盖 + 热点补充”的立体网络，确保操控链路的高可靠性与低时延。

农村区域：郊区及农村区域因业务量差异需采用分层覆盖策略；对于低业务量区域，通过调整现有基站天线倾角，兼顾地面与低空覆盖，最大化基础设施利用率；对无人机活动频繁区域（如农业植保作业区），则建设专用对空基站，定向增强低空信号强度。同时，利用 4G 网络填补 5G 覆盖盲区，实现多网协同，降低初期投资成本。这一模式在保障无人机基础通信需求的同时，避免了农村场景下高密度基站部署的经济负担。

4 覆盖优化解决方案

4.1 切换优化方案

①配置调优：针对低空无人机飞行路线上的邻区切换关系通过切换迟滞、小区特定偏置等切换参数单独进行切换调优，规避乒乓切换及切换失败等问题。对邻区配置、外部配置、异系统参数配置、ANR 开关配置进行核查，避免邻区关系漏配。

②小区合并：地空共站同频小区合并，实现一体化组网，有效减少空中与地面之间的相互干扰。也可根据具体场景空地通信需求，采用超级小区等方式将低空覆盖多个小区进行合并，降低空中切换概率，保障通信连续性。

4.2 干扰优化方案

①通过 Massive MIMO 垂直面和水平面的波束赋形，可以对准无人机形成精准的窄波束进行发送和接收，减少了小区内或者小区间的干扰，采用如下的方式：

基站侧：采用 Massive MIMO 形成较窄 Beam 对准服务用户，采用协作传输的方式，即通过多个小区间协调在时、频、空、码、功率域的资源来减少干扰，如 \CoMP(Coordinated Multipoint，协同传输）、CBF（Coordinated Beamforming，协同波束）等技术。

终端侧：通过功控优化，控制终端发射功率；通过码、频域等错开，降低终端用户干扰。

②天线隔离： 通过两面天线的下倾角的夹角之和来评估重叠覆盖的干扰情况，建议两面天线的下倾角夹角之和大于 12 度，即对空对地覆盖的两个小区的主瓣方向夹角。

4.3 覆盖优化方案

面向低空覆盖有针对性的调整天线倾角、方位角和小区功率，提升覆盖效果，控制重叠覆盖和远距离干扰。

5 5G 低空网覆盖技术方案应用

5.1 方案应用

江苏联通在长江南京江浦段部署 50 公里低空 5G 网络，使用 43 台设备 8TR RRU 设备加天线的形式，实现空域 200 米和江面连续覆盖，用于无人机巡航。

5.1.1 参数规划

天线倾角设计：南京无人驾驶航空试验主要在 200 米高度的空域进行，目前现网 5G 站点主要覆盖地面到 50 米高度的低空场景，要保障 200 米高度优质的 5G 信号覆盖，需设置合理的天馈参数。由于专网站点设计 3 个扇区对江面覆盖，每个扇区水平波瓣 65° ，如何设置天线下倾角，如图 1 所示，决定着不同高度的信号强度。

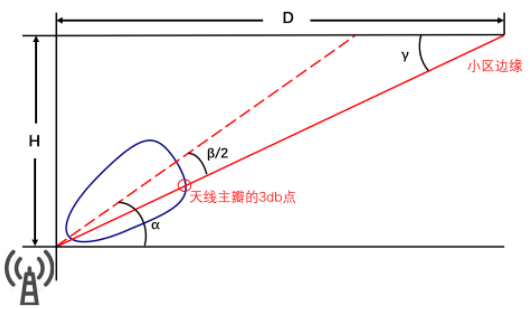

图 1 天线下倾角设置图

其中 D 是小区半径，H 是空域高度，α 是天线下倾角，

β 是天线的垂直半功率角。

①：α=γ+β/2

②：tanγ=D/H ，即 γ=arctan(D/H) 所以，天线下倾角 α= arctan(D/H)+β/2

以试验区站点为例，高度 30 米，覆盖距离 1.2KM，以下倾角 α=arctan(170/1200)+6.5=-8-6.5=-14.5 度，理论最优下倾角应为 -14.5° 。为验证理论下倾角的实际覆盖效果，分别在 50m、100m、150m、200m、250m 高度定点和 200m、250m 高度飞行测试，分类统计各个值对应不同下倾角的能力值，进行汇总分析。

测试结果显示，在下倾角设置 -14° 时，测试的信号强度和速率最优，与计算得出的理论结果相吻合。按照上述的下倾角计算公式结合测试时各扇区的覆盖距离，得出南京市民用无人驾驶航空试验区专网站点的最优下倾角。

5.1.2 切换优化

针对邻区连续的问题，针对专网站点邻区配置、外部配置、异系统参数配置、ANR 开关配置等进行核查。

5.1.3 性能调优

低空飞行器实时视频传输，依赖于网络的上行链路质量，为保障视频传输中网络快，传输稳，时延低的要求，对实验网站点进行专项参数调整，如表 1 所示。

表 1 上行感知优化参数表

优化参数	参数名	修改值	修改目的
异系统切换A2 RSRP门限	NRCELLINTERRHOMEAGRP.INTERRATHOA2RSRPTHLD	-120	减少异系统测量资源损耗
上下行CCE配比自适应	NRDUCELLPDCCH.UL_DL_CCE_RATIO_ADAPT_SW	打开	优化CCE利用率，增加资源调度
上行256QAM打开	NRDUCELLALGOSWITCH.UL256QAMSWITCH	UL_256QAM_FIXED	提高调度选阶，提升上行速率
时隙结构	NRDUCell.SlotStructure	SS104	减少上行信道干扰
帧偏置	gNodeBParam.FrameOffset	0	减少上行信道干扰
MCS调整量优化开关	NRDUCELLDLAMC.DLMCSSELALGOSW	1	减少干扰
MU-MIMO准入门限	NRDUCELLDLMIMO.DLMUMIMOSRSPRESINRTHLD	100	减少干扰
DMRS保障调度定时器	NRDUCELLRSVDEXT01.RSVDPARAM134	2	提升资源调度

5.2 应用效果

南京长江无人机航线 5G 低空网优化调整后，整体覆盖良好、实时视频传输感知良好。总体优化前后测试指标对比见下表 2、图 2 和图 3：

表 2 优化前后测试指标

5G 信号验收项目	达标标准	优化前	优化后
RSRP ≥ -98dBm 的占比	≥ 99%	98.86	99.7
RSRP ≥ -98dBm&SINA ≥ 3 的占比	≥ 90%	76.84	93.07
上行速率≥ 20Mbps 的占比 %	≥ 95	85.93	95.33
端到端平均 ping 时延	≤ 20ms	20.44	19.66
网络可用率	≥ 99.9%	100	100
平均 RSRP	--	-88.11	-84.02
平均 SINR	--	7.17	10.33
PDCP 层上行平均吞吐率 (Mbps)	--	24.71	57.51

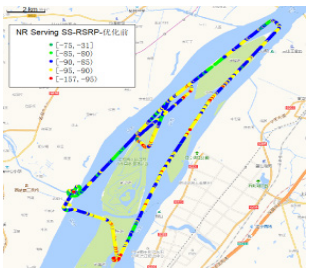

图 2 优化前低空 5G 覆盖

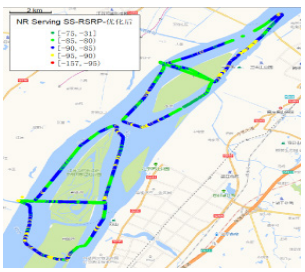

图 3 优化后低空 5G 覆盖

6 结论与展望

本文通过理论分析与现网测试，验证了 5G 低空网络组网方案的可行性。共网共用模式在初期可低成本满足基础需求，而专网模式为未来大规模应用提供高可靠性保障。关键技术如波束赋形、天线隔离及动态参数优化，显著提升了覆盖效率与抗干扰能力。

后续研究需进一步结合 AI 算法实现智能波束管理，并探索毫米波频段在低空场景的潜力，推动 5G 网络在低空经济中的深度赋能。

参考文献

[1] 张勋,冯毅,马丹,等.5G低空网络解决方案和运营应用[J].电信科学,2020005.

[2] 郑志刚,纪国强.5G低空覆盖专网研究[C]//2018年5G网络创新研讨会.TD产业联盟移动通信杂志社, 2018.

[3] 孙一,吴威,潘文苹,等.5G低空网络部署研究[J].通信电源技术,2020.17.060.

[4] 左明,吴亚晖,程杰.低空5G网络覆盖方案与部署策略研究[J].电子技术与软件工程, 2022(20):32-35.

[5] 韩玲,朱雪田,迟永生.基于5G的低空网联飞行器体系研究与应用探讨[J].电子技术应用, 2021, 47(5):5.