

5G 低空通信网络覆盖方案探讨

Exploration of 5G Low-Altitude Communication Network Coverage Scheme

任洪彬, 卢重, 关永法 (中讯邮电咨询设计院有限公司郑州分公司, 河南 郑州 450007)

Ren Hongbin, Lu Zhong, Guan Yongfa (China Information Technology Designing & Consulting Institute Co., Ltd. Zhengzhou Branch, Zhengzhou 450007, China)

摘要:

5G 技术的成熟应用促进了低空经济的发展, 在各类新应用场景的探索过程中, 低空经济受到业界越来越多的青睐。聚焦 5G 低空通信网络组网方案, 针对 300 m 以下空域的低空通信, 系统分析异频覆盖与新建专网 2 种组网模式差异, 通过理论建模、站点规划仿真及实地测试研究, 验证不同基站类型的覆盖性能与关键技术参数, 最后针对建设一张连续覆盖、性能稳定的 5G 低空通信网络给出建议。

关键词:

5G 低空通信网络; LOS 径; SSB 波束分层

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2026.05.004

文章编号: 1007-3043(2026)05-0019-05

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:

The mature application of 5G technology has promoted the development of low-altitude economy, and in the exploration of various new application scenarios, low-altitude economy has also become a major focus of the industry. Focusing on the 5G low-altitude communication network networking solution, it systematically analyzes the differences between different frequency coverage and newly built private network networking modes for low-altitude communication in airspace below 300 meters. Through theoretical modeling, site planning simulation, and field testing research, the coverage performance and key technical parameters of different base station types are verified, providing suggestions for building a continuous coverage and stable performance 5G low-altitude communication network.

Keywords:

5G low-altitude communication network; LOS diameter; SSB beam layering

引用格式: 任洪彬, 卢重, 关永法. 5G 低空通信网络覆盖方案探讨[J]. 邮电设计技术, 2026(5): 19-23.

1 概述

我国低空通信网络^[1-3]设施建设正处于快速发展与探索阶段, 随着科技的不断进步和政策的逐步开放, 低空经济领域^[4]正迎来前所未有的发展机遇。首先政府层面正积极推动低空经济的发展, 出台了一系列相关政策和规划, 为低空经济网络设施建设提供了

政策保障; 其次在基础设施建设方面, 我国已经建成了覆盖广泛的 5G 通信、导航等信息基础设施, 这些设施为低空经济网络设施的建设提供了坚实的基础。

低空通信的主要应用场景包括空域监管、应急救援、低空物流、机场安防、医疗救援等多个领域, 结合目前行业需求, 各场景应用要求如表 1 所示。

低空通信业务目前主要覆盖 300 m 以下区域, 聚焦视频回传业务^[5-6], 视频回传对上行速率的要求为 25 Mbit/s, 低空建网初期建议以 UL/DL=25/1 Mbit/s 为

收稿日期: 2026-03-06

表1 低空通信应用典型场景及业务要求

应用场景	业务示例	上行速率/(Mbit/s)	下行速率/(kbit/s)	覆盖高度/m	覆盖范围
巡检、安防、救援	视频回传	25	300	200~300	巡检覆盖基础设施, 安防覆盖城市
物流、通航	外卖: 基于高清视频的人工接管	5, 满足度 95%	300	60~120	通常为城市环境
	快递: 基于高清视频的人工接管	5, 满足度 95%	300	150~300	
	通航: 视频回传	25	300	300~600	

标准, 满足低空覆盖的基本业务需求。

2 低空通信网组网建议

低空通信网要求周围无明显建筑物遮挡, 天线第一菲涅尔区无遮挡, 对空 100 m 以上保持 LOS 径。目前通常有低空异频覆盖和新建低空专网覆盖 2 种组网方式。

2.1 低空通信网站址规划

低空通信网信号传播主要是直射波, 反射波、绕射波、散射波比较少^[7], 传播损耗相比地面覆盖基站小。在保证上行边缘速率 25 Mbit/s 情况下, 结合链路预算分析(见表 2), NR 2.1 GHz 4TR 低空基站站距可达 3.4 km 左右, NR 3.5 GHz 8TR 低空基站站距可达 2.9 km 左右, NR 3.5 GHz 64TR 低空基站站距可达 4.2 km 左右。

低空通信网站址规划建议如下。

- a) 低空通信网基站利用旧现网基站, 不对现网做调整。
- b) 城区对空站点的站距设置。城区通常 LOS 径条件不够理想, 城区地面站有 64TR 二载波扩容区域, 可采用新建 3.5 GHz 8TR 或 2.1 GHz 4TR 低空专网覆盖, 站距建议为 2.5~3.5 km; 城区其他区域, 可采用新建 3.5 GHz 8TR 或 2.1 GHz 4TR 低空专网覆盖或 3.5 GHz 64TR 二载波低空覆盖, 采用 3.5 GHz 64TR 二载波低空覆盖, 站距建议为 3~4 km。
- c) 农村对空站点的站距设置。农村通常 LOS 径条件比较好, 建议采用新建 3.5 GHz 8TR 或 2.1 GHz 4TR 低空专网覆盖, 结合周边地物环境站距建议为 3~5 km。
- d) 优先选择挂高 30~60 m 的站点, 尽量避免选择挂高过高或过低的站点。
- e) 站点选择应保证分布均匀, 可根据周边楼宇遮挡情况和低空站点高度等情况, 适当调整低空网络的站间距。
- f) 低空通信区域, 通常需保障可开放 300 m 以下

表2 低空通信链路预算

指标	单位	NR 2.1 GHz 4TR	NR 3.5 GHz 8TR	NR 3.5 GHz 64TR
User Experienced Data Rate	Mbit/s	25	25	25
Carrier Frequency	GHz	1.96	3.5	3.5
Subcarrier Space	kHz	15	30	30
System Bandwidth	MHz	40	100	100
UE Tx Power	dBm	23	26	26
UE Antenna Gain	dBi	0	0	0
OTA loss	dB	0	0	0
Body Loss	dB	3	3	3
Tx EIRP	dBm	-14.77	-11.77	-11.77
Thermal Noise Density	dBm/Hz	-132.24	-129.23	-129.23
gNodeB Noise Figure	dB	2.8	3.5	3.5
Required SINR	dB	-2.76	-5.76	-5.76
gNodeB Sensitivity	dBm	-132.20	-131.49	-131.49
gNodeB Antenna Gain	dBi	17.5	17.5	23
UL Interference Margin	dB	3	2	2
Cable Loss	dB	0.5	0.5	0.5
Std Dev of Slow Fading	dB	6	6	6
Shadow Fading Margin	dB	4.0	4.0	4.0
Vertical Antenna Loss	dB	3	3	3
Hand off Gain	dB	3	3	3
BTS Height	m	30	30	30
MAPL	dB	127.38	130.67	136.17
站距	m	3 367	2 852	4 236

空域。

图 1 所示为低空通信网站点规划示意。

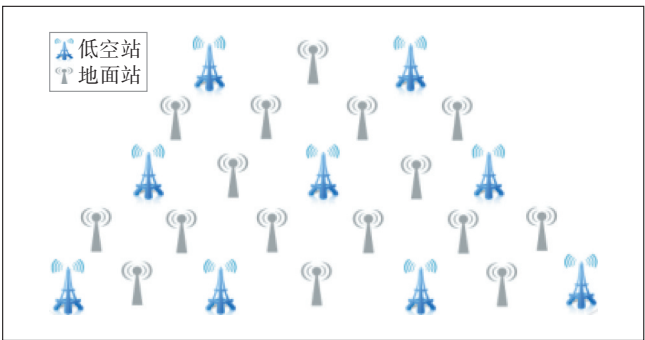


图1 低空通信网站点规划示意

2.2 低空通信网异频覆盖

对于没有规模性开通2载波的区域,可以通过3.5 GHz 64TR设备开通第2载波向低空覆盖,当对空基站开通第2载波时,不能降低第1载波发射功率,不能影

响地面网络原有覆盖,建议第1载波的输出功率配置为200 W,第2载波的输出功率配置为120 W,SSB波束建议配置为多层波束^[8](见图2)。

组网建议如下。

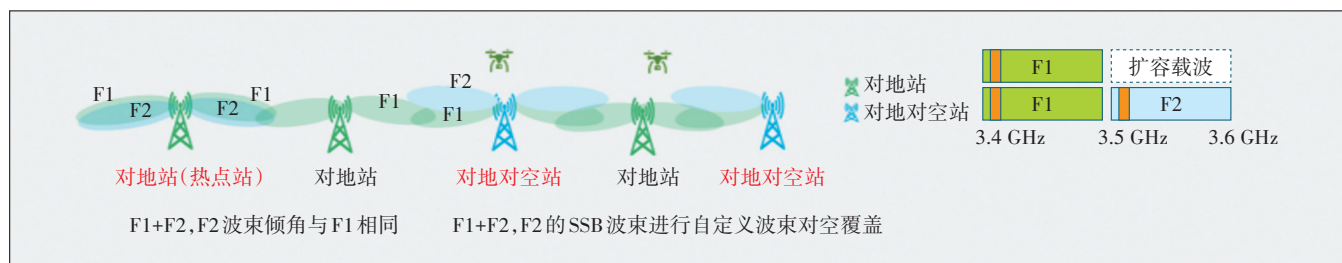


图2 低空通信网异频组网示意

a) AAU倾角要求:机械倾角调整至0°,SSB波束分层优化覆盖。

b) F1对地面覆盖,全网连续,确保不影响MBB现网性能。

c) F2对低空覆盖,旁瓣对空与地面有互相干扰的风险^[9],对于已规模开通双载波的场景,不建议使用此方案。

2.3 低空通信网专网覆盖

新建低空通信专网站点,AAU/天线主瓣指向低空方向,增强空中覆盖,基本不吸收地面用户业务,对低空需求做专网覆盖(见图3)。

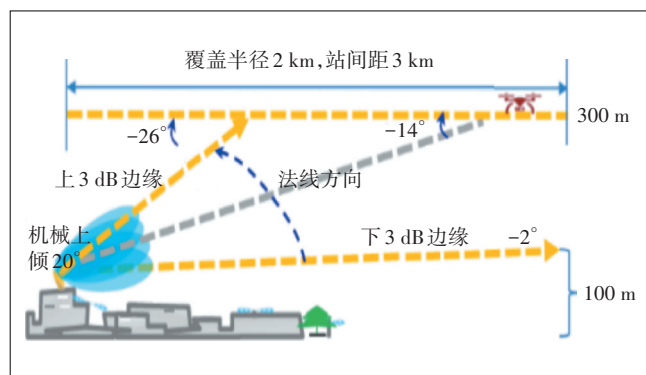


图3 低空通信网专网覆盖示意

组网建议如下。

a) 站距建议:理论计算站间距建议3 km左右,可保障300 m高空处于业务主瓣覆盖范围,可满足UL 25 Mbit/s业务要求。

b) 站点类型选择:优先选择周边无高大建筑、树木的塔站,选择楼顶站时需要考虑地物环境。

c) AAU/天线倾角要求:建议机械倾角上抬15°~

20°,业务最外层波束的下3 dB边缘指向100 m高度的小区边缘。

3 低空通信网络组网验证

3.1 仿真验证

某国家5A级旅游景区低空示范区是延伸约5 km的狭长地带,有直升机^[10]运送旅客及物资低空通信需求。该示范区域的面积为35.58 km²,目前有13个地面基站覆盖,其中,只有游客中心有1个3.5 GHz 64TR基站,其余均为NR2.1 GHz 4TR和NR3.5 GHz 8TR设备。

结合现网站点周边地物环境及站距建议,选择其中7个站点,新建3.5 GHz 8TR设备做低空通信专网覆盖,低空覆盖站点的平均站距为2.43 km(见图4)。

序号	站名	站高/m	方位角/°	机械下倾/°	电子下倾/°
1	站点1	15	198/290	-18/-18	0/0
2	站点2	25	80/171	-18/-18	0/0
3	站点3	35	10/120/225	-18/-18/-18	0/0/0
4	站点4	25	3/114	-18/-18	0/0
5	站点5	35	271	-18	0
6	站点6	25	250/335	-18/-18	0/0
7	站点7	25	230	-18	0

图4 低空通信网区域基站分布及工参情况

3.1.1 上行速率仿真

分别对高度60 m、120 m、180 m、240 m、300 m进行了上行速率仿真,均能满足上行25 Mbit/s的速率要

求,其中高度 240 m 的平均上行速率最好,达到了 56.05 Mbit/s(见表 3)。

表 3 不同高度上行速率仿真

UL Throughput	60 m	120 m	180 m	240 m	300 m
平均速率/(Mbit/s)	38.96	50.98	55.21	56.05	54.68
大于 10 Mbit/s 占比/%	68.57	86.31	94.36	97.44	98.05

3.1.2 LOS 径占比仿真

分别对高度 60 m、120 m、180 m、240 m、300 m 进行了 LOS 径占比仿真,高度越高,LOS 径占比越大,其中 120 m 的 LOS 径占比为 81.00%,与该低空示范区处于山地有关。具体如表 4 所示。

表 4 不同高度 LOS 径占比仿真

LOS/NLOS	60 m	120 m	180 m	240 m	300 m
LOS 比例/%	56.47	81.00	92.75	98.23	99.86

3.2 测试验证

对于低空通信网络测试,建议以“弓字型”飞行线路^[4,11-12]开展测试。从测试区域边缘处(矩形区域的顶角)开始飞行,东西向和南北向飞行测试路径均匀分布且保持平行,飞行路径的长边数量至少有 7 条,且相邻长边的间距不超过 1 km,至少规划 1 条飞行测试路径通过测试基站上方(见图 5)。

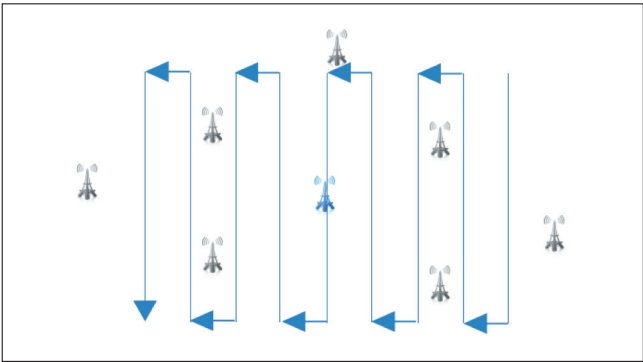


图 5 “弓字型”飞行测试路径示意

本次测试示范区面积约为 28.48 km²,地势较为平坦,周边无高大建筑阻挡,选择 6 个低空覆盖站点,平均站距为 2.43 km,分别进行异频组网覆盖、低空专网覆盖^[8,12]、单小区拉距等测试,评估低空通信^[9,14-15]的覆盖能力和性能。

3.2.1 2 载波异频组网测试

1 载波地面小区频率范围为 3.4~3.5 GHz,2 载波低空小区频率范围为 3.5~3.6 GHz,SSB 波束分层采用 4+

3 模式。

2 载波异频组网下,由于周边现网地面站有开通 2 载波的情况,小区间干扰较大,覆盖率为 94.09%,上/下行边缘速率为 30.43/20.9 Mbit/s,可以满足低空飞行的速率要求(上行边缘速率>25 Mbit/s)。具体见表 5。

表 5 2 载波异频组网覆盖测试结果

测试指标	测试结果
覆盖率(RSRP≥-105 dBm&SINR≥-3 dB)/%	94.09
RSRP 平均值(CDF5%)/dBm	-75.6/-82.3
SINR 平均值(CDF5%)/dB	2.33/-4.57
PDCP DL 平均值(CDF5%)/(Mbit/s)	155.29/20.9
PDCP DL 大于等于 50/100 Mbit/s 占比/%	96.65/80.79
PDCP UL 平均值(CDF5%)/(Mbit/s)	136.42/30.43
PDCP UL 大于等于 50/100 Mbit/s 占比/%	96.36/81.3
飞行总里程/km	9.5
总切换次数/次	186
平均每千米切换次数/次	19.57

3.2.2 新建低空专网覆盖测试

新建 3.5 GHz 8TR 设备,天线方向设置为向上 15°~20°,作为低空专网覆盖。

新建低空专网组网下,结合周边环境通过合理设置低空站天线仰角,可减少小区间干扰。测试覆盖率为 98.8%,上/下行边缘速率为 95.98/58.53 Mbit/s,可以满足低空飞行的速率要求(上行边缘速率>25 Mbit/s)。具体见表 6。

表 6 新建低空专网覆盖测试结果

测试指标	测试结果
覆盖率(RSRP≥-105 dBm&SINR≥-3 dB)/%	98.80
RSRP 平均值(CDF5%)/dBm	-77.35/-83.81
SINR 平均值(CDF5%)/dB	5.99/-0.32
PDCP DL 平均值(CDF5%)/(Mbit/s)	334.07/58.53
PDCP DL 大于等于 50/100 Mbit/s 占比/%	97.82/97.5
PDCP UL 平均值(CDF5%)/(Mbit/s)	171.05/95.98
PDCP UL 大于等于 50/100 Mbit/s 占比/%	99.91/97.41
飞行总里程/km	9.5
总切换次数/次	50
平均每千米切换次数/次	5.26

3.2.3 单小区拉距测试

进行单小区拉距测试的基站为 3.5 GHz 64TR 设备,开通 2 载波对低空进行覆盖^[11],天线挂高为 32 m,站点为铁路沿线站点,覆盖方向空旷,测试飞行里程为 8.7 km(见图 6),小区频率范围为 3.5~3.6 GHz,SSB



图6 单小区拉距测试周边环境及飞行轨迹示意

波束分层采用4+3模式。

采用锁小区、法线拉远方式进行单小区拉距测试,飞行距离达到8.7 km,飞行终点的RSRP为-104.02 dBm,上行速率为25 Mbit/s,覆盖距离为4.8 km(见表7)。

表7 单小区拉距测试结果

测试指标	测试方法/结果
终端设置	锁小区
测试方向	法线拉远
飞行高度/m	120
飞行速度/(km/h)	40
SS-RSRP均值(8.7 km)/dBm	-87.53
SS-SINR均值(8.7 km)/dB	2.58
边沿SS-RSRP(8.7 km)/dBm	-104.02
最大拉远测试飞行距离/km	8.7
上行速率>25 Mbit/s的覆盖距离/km	4.8

4 结论

本文以理论分析为基础,结合网络仿真及网络测试,验证了低空通信网络组网的性能,针对5G低空通信网络,给出如下建议。

a) 对空站点的站距设置应结合地面站分布及地物环境,城区建议设置为3 km左右,郊区农村建议设置为3~5 km。

b) 对于100~300 m低空通信,通常200 m左右高度的LOS径占比和网络指标比较好。

c) 当采用2载波异频覆盖时,SSB波束配置为多层波束,功率设置不应影响地面覆盖。

d) 当采用新建低空专网覆盖方式时,网络指标优于2载波异频覆盖方式,但是新建专网建设成本更高。

e) 在LOS径良好的情况下,通常5 km范围内低空

通信可满足上行25 Mbit/s的要求。

低空通信网络设施的建设对于推动低空经济的发展具有重要意义,将为企业带来巨大的发展机遇。然而,企业也需要面对一系列挑战和竞争压力,企业应加强技术研发,拓展应用场景、加强合作与联盟、注重人才培养,同时关注政策动态,以提升自身竞争力并适应行业发展的需求。

参考文献:

- [1] 张琳,张涛. 5G公网兼顾低空覆盖方案及性能测试[J]. 邮电设计技术,2024(1):54-60.
- [2] 杨旭伟,顾均,陈凯,等. 5G低空覆盖专网方案设计及实践[J]. 江苏通信,2024,40(5):18-22.
- [3] 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.
- [4] 田园,吴峰,欧阳俊,等. 面向低空经济的无人机通信及标准进展分析[J]. 信息通信技术,2023,17(5):38-44.
- [5] 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.
- [6] 孙一卓,陈麒,张欢,等. 基于图像识别的低空动态目标碰撞预测方法论述[J]. 邮电设计技术,2024(12):78-82.
- [7] 瞿水华,许乐飞,程世伟,等. 5G-A通信感知一体化技术对低空无人机检测性能的研究[J]. 电信工程技术与标准化,2024,37(7):75-80.
- [8] 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.
- [9] 孙一,吴威,潘文萃,等. 5G低空网络部署研究[J]. 通信电源技术,2020,37(17):183-185.
- [10] 邵玲,邹博,王立强. 基于认知的直升机低空通信系统研究[J]. 计算机与网络,2022,48(20):57-60.
- [11] 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.
- [12] 梁伟豪. 低空通信网中无人机任务规划算法研究[D]. 北京:北京邮电大学,2024.
- [13] 陈爽. 关于建立低空空域无线立体通信网络的探讨[J]. 通信技术,2022,55(11):1456-1463.
- [14] 全权,李刚,柏艺琴,等. 低空无人机交通管理概览与建议[J]. 航空学报,2020,41(1):1-29.
- [15] 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.

作者简介:

任洪彬,高级工程师,硕士,主要从事移动通信工程规划、设计工作;卢重,工程师,硕士,主要从事移动通信工程规划、设计工作;关永法,工程师,学士,主要从事移动通信工程规划、设计工作。