

T / SZDKXH

深圳市低空经济产业协会 团体标准

XXX — XXXX

低空通信网络建设规范

Construction specification for Low-Altitude Telecommunications
Network

(征求意见稿)

(本草案完成时间：2025/10/17)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

深圳市低空经济产业协会 发布

目 次

1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 缩略语	2
5 低空通信网络需求	2
5.1 概述	2
5.2 典型低空应用通信需求	3
5.3 低空起降场（点）通信需求	5
6 低空通信接入网	6
6.1 低空通信网络系统	6
6.2 低空通信接入终端	7
7 低空通信网络方案	7
7.1 概述	7
7.2 运营商公众网方案	8
7.3 卫星方案	10
7.4 宽带数字集群专网方案	11
7.5 其他方案	12
8 低空通信网络规划建设	13
8.1 运营商公众网方案规划建设	13
8.2 宽带数字集群专网方案规划建设	17
9 验收	17
9.1 系统验收	17
9.2 网络验收	18
参考文献	28

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由深圳市交通运输局提出。

本文件由深圳市低空经济产业协会归口。

本文件起草单位：深圳市低空经济产业协会、深圳信息通信研究院、中国移动通信集团广东有限公司深圳分公司、中国联合网络通信有限公司深圳市分公司、中国电信股份有限公司深圳分公司、中兴通讯股份有限公司、华为技术有限公司、亚太卫星宽带通信（深圳）有限公司、深圳市智慧城市通信有限公司、广东南方电信规划咨询设计院有限公司、珠海世纪鼎利科技股份有限公司、丰翼科技（深圳）有限公司、深圳美团低空物流科技有限公司、深圳高度创新技术有限公司、峰飞航空科技（深圳）有限公司、零重力深圳飞机工业有限公司、深圳市天空汽车网络有限公司、深圳市东部通用航空有限公司、中信海洋直升机股份有限公司。

本文件主要起草人：刘立平、成涛、吴迪、戴鹏、邱斌、范忱、梁健、周志伟、洪伟杰、王德培、刘斌、舒旭峰、贾佳、李坤煌、王晟、贾思源、谢雪军、梁进、皮一、曹珺飞、赵文娟、郭珊、吴争光、阮意滔、丁光河、郑宜城、岳胜、张义泽、段瑞洋、陈晓晨、赵军

低空通信网络建设规范

1 范围

本文件规定低空通信网络的典型通信需求、低空通信网络方案、网络规划和建设、网络验收等内容。
本文件适用于低空通信网络建设。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 8702—2014 电磁环境控制限值

GB/T 14431—1993 无线电业务要求的信号/干扰保护比和最小可用场强

GB/T 38152—2019 无人驾驶航空器系统术语

HJ 972—2018 移动通信基站电磁辐射环境监测方法

HJ 1151—2020 5G 移动通信基站电磁辐射环境监测方法（试行）

MH/T 4001.1—2016 甚高频地空通信地面系统第 1 部分：话音通信系统技术规范

MH/T 4028.1—2021 民用航空空中交通管制服务地空通信设备配置 第 1 部分：语音通信

MH/T 4036—2012 1090 MHz 扩展电文广播式自动相关监视地面站（接收）设备技术要求

YD/T 3973—2021 5G 网络切片 端到端总体技术要求

YD/T 5230—2016 移动通信基站工程技术规范

ITU-R SM.1392-2, Essential requirements for a spectrum monitoring system for developing countries, 国际电信联盟无线电通信部门, 2007 年

3 术语和定义

GB/T 38152—2019 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

低空通信网络系统 Low-Altitude Telecommunications Network System

包括低空通信接入网、承载网、核心网的网络设备，不包括低空通信接入终端。

3.2

低空通信接入终端 Low-Altitude Telecommunications Access Terminal

包括低空机载通信模块终端，以及集成了不可拆卸通信模块的无人/有人驾驶飞行器。

3.3

无人/有人驾驶飞行器 Manned/Unmanned aircraft

由中华人民共和国国务院、中华人民共和国中央军事委员会令第 761 号定义的微型无人驾驶航空器、轻型无人驾驶航空器、小型无人驾驶航空器、中型无人驾驶航空器、大型无人驾驶航空器、农用无人驾驶航空器，以及无人/有人驾驶载人飞行器。

3.4

低空起降场（点） Low-altitude Aircraft Take-off and Landing Site
专门为无人/有人驾驶飞行器设计的起降场地。

3.5

覆盖率 Coverage Ratio

在低空航路航线和飞行区域内，通信网络能够稳定提供预期性能服务的空间占总空间的百分比。

3.6

连续性 Network Continuity Ratio

在低空航路航线和飞行区域内，通信网络能够在固定时间内提供预期性能服务的时间段占总时长的百分比。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

AAU：有源天线单元（Active Antenna Unit）

CBF：协同波束赋形（Coordinated Beamforming）

CoMP：多小区协同收/发（Coordinated MultiPoint）

CQI：信道质量指标（Channel Quality Indicator）

CS：多小区协同调度（Coordinated Scheduling）

EIRP：有效各向辐射功率（Effective Isotropic Radiated Power）

eVTOL：电动垂直起降飞行器（Electric Vertical Takeoff and Landing）

GBR：保证比特速率（Guaranteed Bit Rate）

G/T：接收系统的品质因数（Gain/Temperature）

LOS：视距通信（Line of Sight）

MCS：调制与编码策略（Modulation and Coding Scheme）

MIMO：多输入多输出（Multiple Input Multiple Output）

NWDAF：网络数据分析功能（Network Data Analytics Function）

PRB：物理资源块（Physical Resource Block）

PCF：策略控制功能（Policy Control Function）

RRU：远端射频单元（Remote Radio Unit）

RSRP：参考信号接收功率（Reference Signal Receiving Power）

RSSI：接收信号强度指示（Received Signal Strength Indicator）

SDWAN：软件定义广域网（Software-Defined Wide Area Network）

SINR：信号与干扰加噪声比（Signal to Interference plus Noise Ratio）

SRS：探测参考信号（Sounding Reference Signal）

SSB：同步信号块（Synchronization Signal Block）

TDMA：时分多址（Time Division Multiple Access）

5QI：5G Qos 标识符（5G Qos Class Identifier）

5 低空通信网络需求

5.1 概述

5.1.1 低空经济是以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，既包括传统的通用航空产业，也包括无人驾驶飞行器等新型业态，具有产业链条长，服务领域广，带动作用强等特点。

5.1.2 低空应用主要包括公共服务、商业应用、低空文旅等类型，无人驾驶飞行器商业化运营已覆盖货运物流、即时配送、农情监测、交通/管线巡检、勘探测绘、农林植保、应急消防等领域；通用航空企业的业务场景已覆盖城际交通、空中游览、医疗救护、港口引航、海上风电运维等领域。

5.1.3 低空应用场景总结如下：

- a) 真高 120 米以下，主要应用场景包括低空配送、个人航拍娱乐等；
- b) 真高 120 米至 300 米，主要应用场景包括低空物流，主要应用场景包括低空巡检、无人驾驶飞行器医疗物品运输、低空货运、景区载客观光/空中游览/商务包机、低空客运、短途运输等；
- c) 真高 300 米至 1000 米，主要应用场景包括低空交通、海上石油工人运输。

5.1.4 低空载物应用的通信需求主要包括：

- a) 飞控链路：传输民用无人/有人驾驶飞行器飞行控制和运行识别信息等，数据包小，对网络连续稳定覆盖、传输时延和可靠性要求极高；
- b) 载荷链路：传输民用无人/有人驾驶飞行器摄像头（包括载人手持终端）以及各种传感器采集到的图像、视频和传感数据等信息，以上行为主。低空载客应用的通信需求普遍要求更高。

5.2 典型低空应用通信需求

5.2.1 典型的民用无人/有人驾驶飞行器低空应用包括低空物流、低空配送、低空巡检/自然灾害搜救、低空货运、无人驾驶飞行器医疗物品运输等场景，对应的巡航高度、速度、通信需求等参数如表 1 所示。

5.2.2 载客应用包括景区载客观光、低空交通、低空客运、商务包机等场景，对应的巡航高度、速度、通信需求如表 2 所示。

5.2.3 其他民用无人/有人驾驶飞行器低空应用场景的通信需求参数宜参考使用。

表 1 典型的低空应用场景通信需求

典型场景	机型	载荷重量/kg	单次起降平均距离/km	巡航飞行真高/m	巡航速度m/s	起飞降落阶段	自动飞行阶段/或指点飞行、手动飞行
低空配送	小型	2.5	3	100	10	视频回传+状态回传上行速率 400kbps	视频回传+状态回传上行速率 400kbps
						控制链路下行速率 50kbps	控制链路下行速率 50kbps
						控制端到端时延≤150ms	控制端到端时延≤150ms
						视频回传到端时延≤500 ms	视频回传到端时延≤500ms
低空巡检 自然灾害搜救	小型	5	5	≤300	10-18	视频回传上行速率 6Mbps	上行速率 25Mbps
						控制链路下行速率 500kbps	控制链路下行速率 500kbps
						控制端到端时延≤56ms	控制端到端时延≤56ms
						业务端到端时延≤200ms	业务端到端时延≤200ms

表 1 典型的低空应用场景通信需求（续）

典型场景	机型	载荷重量/kg	单次起降平均距离/km	巡航飞行真高/m	巡航速度m/s	起飞降落阶段	自动飞行阶段 /或指点飞行、手动飞行
无人驾驶飞行器医疗物品运输	小型	4~9	18	≤300	10~18	视频回传上行速率 6Mbps	状态回传上行速率 6Mbps
						控制链路下行速率 500kbps	控制链路下行速率 500kbps
						控制端到端时延≤56ms	控制端到端时延≤56ms
						业务端到端时延≤200ms	业务端到端时延≤200ms
低空货运	eVTOL	400	30~200	≤300	45~56	视频回传上行速率 10Mbps	状态回传上行速率 10Mbps
						控制链路下行速率 10Mbps	控制链路下行速率 10Mbps
						控制端到端时延≤1000ms	控制端到端时延≤1000ms（视距离和信号强度波动）
低空物流	中型	≤50	120 以下	≤300	10~50	控制链路上/下行速率 300kbps	控制链路上/下行速率 300kbps

注：无人驾驶飞行器表演一般采用自组织网技术。

表 2 典型的低空载客应用场景通信需求

典型场景	机型	载荷重量/kg	单次起降平均距离/km	机载总人数/人	巡航飞行真高/m	巡航速度km/h	起飞降落阶段	自动飞行阶段/或指点飞行、手动飞行	其他需求
景区载客观光	eVTOL	154	5-10	2	120	75	视频回传上行速率 15Mbps		1、4/5G 公网VPN 带宽保留 2、5G 专网通信 3、私有部署转发服务器 3W 并发量 100Mbps 带宽 4、云端音视频服务器 5、机载配置加载下行速率 100Mbps 同步机载设备的配置信息，如地图，一般首次加载即可，后续按需使用
							状态回传上行速率 2Mbps	状态回传上行速率 2Mbps	
							控制链路下行速率 2Mbps	控制链路下行速率 2Mbps	
							控制端到端时延≤100ms	控制端到端时延≤100ms	
							地面企业专网 1000Mbps		

表 2 典型的低空载客应用场景通信需求 (续)

典型场景	机型	载荷重量/kg	单次起降平均距离/km	机载总人数/人	巡航飞行真高/m	巡航速度km/h	起飞降落阶段	自动飞行阶段/或指点飞行、手动飞行	其他需求
低空交通	eVTOL	400	10–100	6	1000	300	视频回传上行速率 15Mbps		1、4/5G 公网 VPN 带宽保留 2、4/5G 专网通信 3、云端高安全转发服务器 3W 并发量 4、云端音视频服务器 5、卫星 10Mbps 6、5 名乘客娱乐 5G 公网 50Mbps 7、机载配置加载下行速率 100Mbps 同步机载设备的配置信息，如地图，一般首次加载即可，后续按需完成
							状态回传上行速率 6Mbps	状态回传上行速率 6Mbps	
							控制链路下行速率 4Mbps	控制链路下行速率 4Mbps	
							控制端到端时延≤1000ms	控制端到端时延≤1000ms	
							地面企业专网 1000Mbps		
低空客运	eVTOL	500	30–200	5	≤300	162–201.6	视频回传上行速率 10Mbps	视频回传上行速率 10Mbps	/
							控制链路下行速率 10Mbps	控制链路下行速率 10Mbps	
							控制端到端时延≤1000ms	控制端到端时延≤1000ms	
商务包机	直升机	1495–5300	50–800	7–21	≤300	180–220	直升机四维动态信息上传，机载配置加载下行速率 100Mbps	状态回传上行速率 ≥2Mbps 控制链路下行速率 ≥2Mbps	1、4/5G 公网 VPN 带宽保留 2、4/5G 专网通信 3、云端高安全转发服务器并发量 200Mbps 4、云端音视频服务器 5、卫星 2Mbps (单机) 6、14 名乘客娱乐 5G 公网 200Mbps/20 名乘客娱乐 5G 公网 300Mbps
空中游览		351–2500	20–50	4–14	≤300	180			

表 2 典型的低空载客应用场景通信需求（续）

典型场景	机型	载荷重量/kg	单次起降平均距离/km	机载总人数/人	巡航飞行真高/m	巡航速度km/h	起飞降落阶段	自动飞行阶段/或指点飞行、手动飞行	其他需求
海上石油工人运输	直升机	2500-5300	200-400	14-21	≤1500	180	直升机四维动态信息上传，机载配置加载下行速率100Mbps	卫星宽带链路双向均≥2Mbps，用于机载监控摄像头（部分）及飞行状态数据实时传输	1、4/5G 公网 VPN 带宽保留 2、4/5G 专网通信 3、云端高安全转发服务器并发量200Mbps 4、云端音视频服务器 5、卫星 2Mbps（单机）
短途运输		1500	100	7	≤300	180		卫星宽带双向均≥2Mbps，用于状态回传与简单监控	1、4/5G 公网 VPN 带宽保留 2、4/5G 专网通信 3、云端高安全转发服务器并发量100Mbps 4、云端音视频服务器 5、卫星 2Mbps（单机）

5.3 低空起降场（点）通信需求

低空起降场（点）通信需求宜按照上行 25 Mbps 满足度≥95 %执行。

6 低空通信接入网

6.1 低空通信网络系统

6.1.1 低空通信网络系统需要提供稳定的数据接入点，确保无人驾驶飞行器等低空通信接入终端能够顺利接入并传输数据。数据转发功能则确保数据能够高效、准确地传递，满足低空通信网络系统与低空通信接入终端之间的通信需求。

6.1.2 低空通信网络系统须具备数据处理能力，对接收到的数据进行初步处理和分析，提取有用信息。处理后的数据需及时上报给相关管理或应用系统，以便进一步的处理和决策。

6.1.3 低空通信网络系统需提供身份标识和认证功能，对接入的设备进行身份验证和授权，确保低空通信接入终端的安全性和合法性。

6.1.4 低空通信网络系统中的基站等设备应按照电信设备进网许可、无线电发射设备型号核准、中国强制性产品认证要求执行，通信基站应符合 GB 8702—2014 中规定的电磁环境控制要求（监测方法按

照 HJ 972—2018 和 HJ 1151—2020 执行)。

6.2 低空通信接入终端

6.2.1 低空通信接入终端的通信系统性能应按照电信设备进网许可、无线电发射设备型号核准、中国强制性产品认证要求执行。各低空通信接入终端厂家可根据自身航空器的载体状态，配置合适的通信模块。

6.2.2 通过移动通信网络实现对低空通信接入终端的高效、可靠的管理，精准地接入识别及管控。低空通信接入终端可信接入的可信标识需要具备域内唯一性及统一性，保证低空通信接入终端在应用时可被网络准确识别，同时低空通信接入终端可信标识的引入需要评估对通信网络以及低空应用的整体影响，兼顾方案引入的实际可行性。

7 低空通信网络方案

7.1 概述

7.1.1 低空通信网络方案旨在构建安全、高效、全域覆盖的通信体系，支撑低空通信接入终端的高效运行与智能管理，提供通信、导航、监视等应用的底层连接功能，如实时飞控与状态监测需支持下行低时延高可靠通信链路，用于动态航线规划、异常指令下发（如黑飞反制）、飞行参数传递等。

7.1.2 低空通信网络方案宜根据低空应用场景的通信需求，利用现有成熟的地面和卫星等通信基础设施，结合网络覆盖范围、网络质量要求、网络建设难度及成本、技术特点等要素综合考虑，充分利用各种通信技术在不同空域高度的覆盖优势，选用一种或几种解决方案组网，搭建一张服务于低空通信接入终端的双向通信网络，如以地面 4G/5G 蜂窝网络为主，结合卫星通信、专用频段补充的无缝切换网络，确保城市密集区与偏远地区的连续覆盖。卫星和地面网络融合演进分为天地互联、天地融合、天地一体等阶段，与 5G、5G-A 到 6G 的网络演进相适应，构建全覆盖的泛在网络连接。

7.1.3 低空应用及低空通信网络方案宜如图 1、表 3 所示。

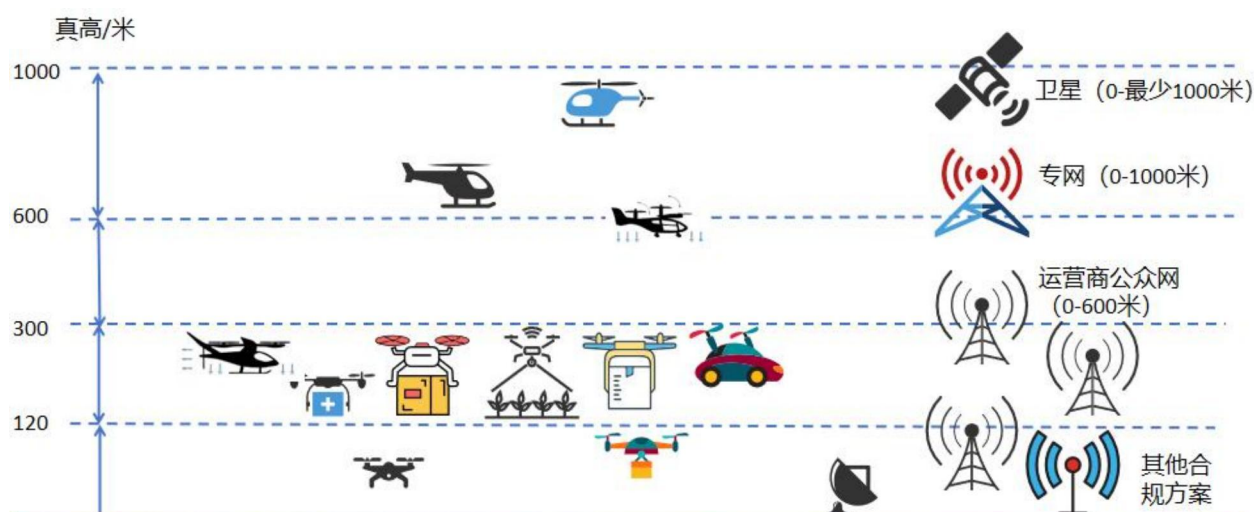


图 1 低空应用及低空通信网络示意图

表 3 低空通信网络技术表

机型	真高/m	典型场景	飞控速率 /bps	视频、状态回 传速率/bps	控制端到端 时延/ms	视频回传 时延/ms	对应高度的网络技术
小型	120	低空配送	50k	400k	150	500	运营商公众网 集群专网
小型	120-300	低空巡检 自然灾害搜救 医疗物品运输	500k	25M	56	200	运营商公众网 集群专网
中型		低空物流	300k	300k	/	/	
eVTOL		低空货运 景区载客观光 低空客运	10M	10M	100	/	
直升机		商务包机 短途运输	2M	2M	/	/	
eVTOL	300-1000	低空交通	6M	6M	1000	1000	集群专网 卫星 运营商公众网（300~600m）
直升机		海上石油工人 运输	2M	2M	/	/	

注：网络建设也可以根据低空场景具体需求，选用VHF 或符合工信部无〔2023〕252 号规定要求的 1430-1444MHz、2.4GHz、5.8GHz 频段技术。

7.2 运营商公众网方案

7.2.1 通则

7.2.2 运营商公众网方案宜立体覆盖至 600 米高度范围的多层低空空域，应避免与地面通信信号干扰；宜连续覆盖，除敏感区域外，同时覆盖起降场和主要航道，具备良好的信号质量。

7.2.3 运营商公众网方案宜采用 5G 或 5G-A 网络为主体，包括接入网、承载网和核心网；其中：

- 接入网应复用toC 基站或根据需要新增对空基站，承载网宜复用运营商基础承载网设备，核心网宜独立建设低空专用网元，包括核心网控制面与用户面，规模不足时可复用运营商 toB 网元；
- 宜支持端到端网络切片，具备差异化通信服务提供能力，符合 YD/T 3973—2021 要求；
- 宜提供独立切片通信服务，分别保障视频回传与飞行控制或远程接管等服务；
- 5G 核心网包含用户面和控制面，其中用户面部署在运营商地市级机房，主要提供终端用户业务数据的路由和转发、数据和业务识别、动作和策略执行等；
- 控制面提供终端用户接入管理功能。5G 核心网能够提供认证和鉴权服务、组网安全防护能力、数据加密、数据隔离、数据防篡改、数据访问控制、数据防泄漏等方面的安全管理。

7.2.4 运营商公众网方案宜支持不同类型终端接入：

- 支持对低空飞行器设备接入低空通信网络的网络接入认证和基于 USS 系统的二次身份认证或业务授权；
- 支持感知业务流类型和网络拥塞状态，当网络质量不佳时，宜支持动态调整接入终端资源保障策略，并下发执行，从而提升网络 QoS 保障；

- c) 支持无线网络灵活驻留，根据接入终端类型与号卡签约属性，配置合理的移动性策略，优先选择低空频点驻留，避免起降和飞行过程在多个基站间频繁切换；
- d) 支持飞行器与地面控制中心的双向实时交互，包括飞行指令传输（如低空通信接入终端遥控）、状态数据回传（如位置、速度、电池状态）及应急响应。例如，低空通信接入终端在无飞手模式下需保证单向时延小于 100 ms，飞行控制信令的可靠性需达 99%以上。

7.2.5 频段方案

7.2.2.1 频率使用

宜根据表 4按需选择使用频段，复用地面网络基础设施，采用地面网络兼顾+新建低空网络协同方式，制定专属移动性切换保障策略，为一定高度下的低空通信接入终端提供良好的通信服务。

表 4 频段表

频段	Band	带宽 (MHz)	工作模式
4.9GHz	n79	160	TDD
2.6GHz	n41	160	TDD
700MHz	n28	30*2	FDD
3.5GHz	n78	200	TDD
2.1GHz	n1	20*2/40*2	FDD
800MHz	n5	10*2	FDD
900MHz	n8	10*2	FDD

注：当国家无线电管理机构通过规范性文件新增或调整适用于低空应用的频段，该频段即被纳入合法使用范围。

7.2.2.2 分层分级覆盖

可通过复用现网结合新建 5G 基站方式，进行不同低空高度通信覆盖。

- a) 120 米以下：对于数据传输带宽及可靠性需求不高的业务场景，可采用复用现网方式，通过优化低空波束、切换链、低空专属移动性策略、差异化 Qos 保障，差异化配置 SSB 资源等专项服务模式，实现固定航线覆盖；如果多固定航线交叉形成连片覆盖需求或无法保障低空和地面载波异频组网情况下，宜新建低空通信基站或新建独立模块对空方案；
- b) 120 米~600 米：可采用与现有地面网络双波束、双频点或独立射频模块等组网方式进行覆盖，以增强对空信号，降低同频干扰；在无法保障低空与地面载波异频组网情况下，可新建独立模块对空方案，以对抗地面同频干扰；或可新建低空通信基站和独立射频单元进行覆盖，采用蜂窝组网或鱼鳞组网等方式实现高质量低空覆盖。对于直升机语音通信需求，可通过运营商蜂窝网络或者卫星网络提供语音解决方案。

7.2.6 低空通信接入终端通信质差灵活保障

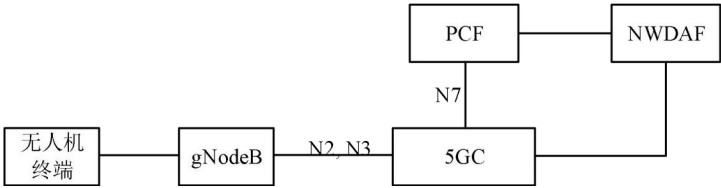


图 2 低空通信接入终端通信质差保障网络架构参考图

低空通信接入终端在飞行过程中，通过通信网络与遥控端进行飞控消息交互，或者向服务器端上传视频。网络侧需提供即时保障能力，避免发生网络拥塞时影响低空通信接入终端的飞控和图传传输。相关保障方案宜如下所述，如图 2 所示：

- a) 5GC 核心网基于传输数据的业务流特征识别低空通信接入终端的飞控和图传两种数据流，定期采集两种业务流的用户体验信息。5GC 核心网根据预设的用户体验建模来判断低空通信接入终端用户的飞控和图传业务是否发生质差，当判定发生质差，即将相关低空通信接入终端用户的质差事件上报给 NWDAF；
- b) NWDAF 基于基站的空口拥塞状态确定是否为发生质差的低空通信接入终端用户分配 GBR 带宽，并支持通过 PCF 经由 5GC 核心网通知基站为相关终端用户预留 GBR 带宽资源，提升 5QI 调度。

7.2.7 低空通信接入终端优先驻留低空网络

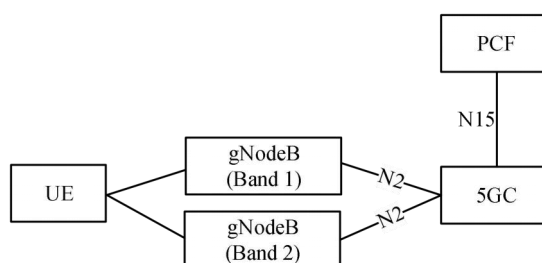


图 3 低空通信接入终端无线网络驻留方案参考图

低空通信接入终端在起降过程中，由于基站信号覆盖较弱，易出现在多个基站间频繁切换影响通信的问题。网络侧需提供无线网络驻留能力，使低空通信接入终端用户驻留在低空频点，避免其在低空频点和地面主用频点间频繁切换，同时也避免低空通信接入终端用户逸出到地面主用频点公网基站，而受到公网用户的影响。相关驻留方案宜如下，如图 3 所示：

- a) 5GC 核心网基于用户接入和用户签约，判定接入用户为低空通信接入终端用户，并为该用户向 PCF 申请无线网络驻留策略；
- b) PCF 基于申请用户为低空通信接入终端类型，为其生成低空频点无线网络驻留策略；
- c) 5GC 核心网基于驻留策略定义，向基站下发选频。基站基于选频索引，调整相关终端用户的重选优先级，以保证终端用户驻留在低空频点网络内。

7.3 卫星方案

7.3.1 频率规划

频率规划需符合以下要求：

- a) 频段分配：宜按照工信部无〔2023〕28 号要求，使用 14.0GHz-14.5GHz 频段；
- b) 技术制式：采用时分多址（TDMA）工作方式。

7.3.2 覆盖高度

利用现有覆盖能力，网络覆盖最大真高不低于 1000 米。

7.3.3 应用场景

14.0GHz-14.5GHz 频段由工业和信息化部规划用于车载、机载、可搬移式或便携式移动平台地球站

在移动中或在停止状态下与卫星通信，满足应急通信、高空巡检、支线物流无人驾驶飞行器、无人驾驶飞行器、通用航空等领域的业务需求，该场景对超远距离、超高空域、超广范围的通信能力要求比较高，宜采用卫星网进行通信保障服务，满足飞行控制、高清视频传输需求。

7.3.4 网络架构

7.3.4.1 利用卫星实现全国卫星信号覆盖，利用TDMA 体制为无人驾驶飞行器通信定制安全稳定可靠的专属低空卫星通信网。

7.3.4.2 利用卫星超高 EIRP 和G/T 值的能力，实现轻量化、小体积、低功耗的卫星终端，可安装于不同的飞行器；所有安装卫星终端的飞行器，可通过低空卫星通信网形成空中互联。

7.3.4.4 所有飞行器的用户指挥中心，可通过卫星、专线、SD-WAN 等方式与低空卫星通信核心网形成地面互联；所有用户数据将按照定制路由策略进行转发，保障所有数据的传输安全。

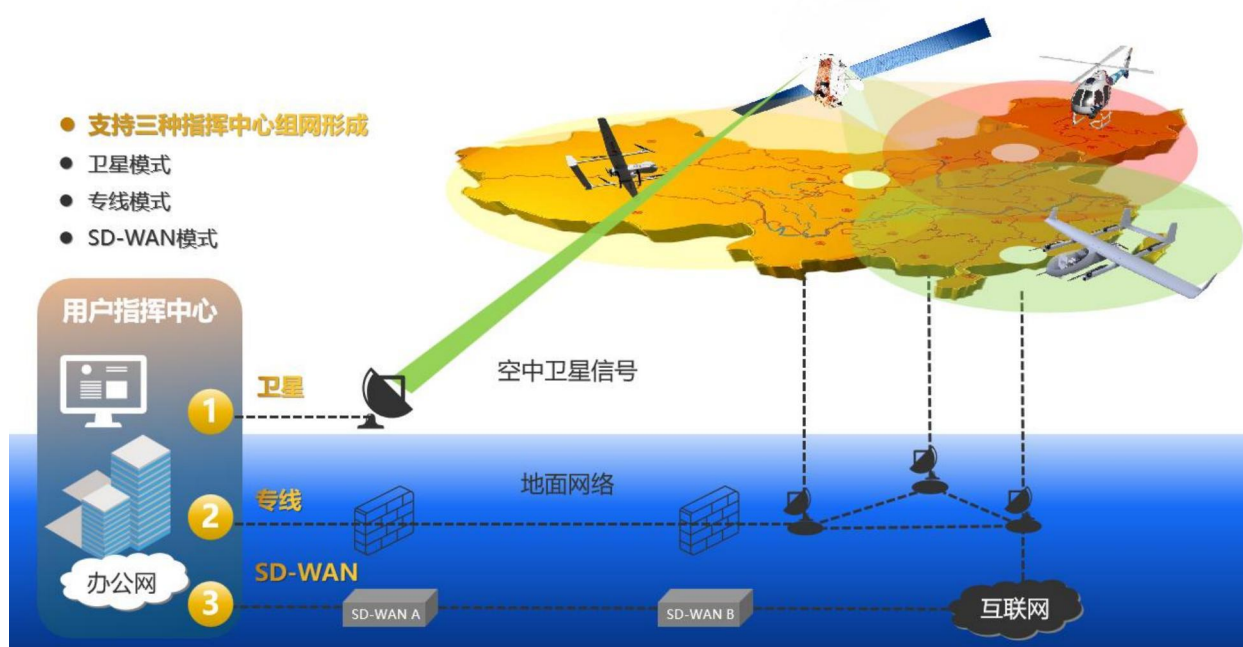


图 4 低空通信卫星方案示意图

7.4 宽带数字集群专网方案

根据工信部无〔2015〕59号，规划1447MHz-1467MHz频段用于满足政务、公共安全、社会管理、应急通信等领域的业务。

7.4.1 频率规划

频率规划需符合以下要求：

- 频段分配：使用1447MHz-1467MHz频段；
- 技术制式：采用时分双工（TDD）工作方式；
- 信道带宽：灵活支持5MHz、10MHz、15MHz和20MHz信道带宽。

7.4.2 覆盖高度

采用定制化覆盖方式，网络覆盖高度为真高0-1000米。

7.4.3 应用场景

1447MHz–1467MHz 频段由工业和信息化部规划用于满足政务、公共安全、社会管理、应急通信等领域的业务需求，政务巡检、应急保障、低空物流等场景对网络安全性、稳定性和时延要求较高，宜采用 1.4GHz 专网进行通信保障服务，满足飞行控制、高清视频传输需求。

7.4.4 网络架构

依托 1.4GHz 专网物理隔离、自主可控、服务定制的能力，为低空通信接入终端提供安全可靠、实时稳定、高效集约的 1.4GHz 低空通信专网服务。1.4GHz 宽带数字集群专网包含核心层、传输层、接入层、终端层，具体要求如下：

- a) 核心层主备容灾、出口采用专用链路，提升安全性：
 - 1) 核心网通过专用链路与低空通信接入终端业务平台互联，降低数据传输时延；
 - 2) 主备核心网跨机房容灾备份，提高网络整体安全性；
 - 3) 为不同业务分配相应的资源和调度优先级，优先保障飞控数据传输，实现对不同类型业务的差异化 QoS 保障；
- b) 传输层传输设备、线路冗余备份，提供高带宽、强保护、高可靠的能力：
 - 1) 专网基站至传输设备采用双路由主备加固方案，当其中一条链路、端口或单板故障时，业务可切换到另一条链路上；
 - 2) 接入传输设备组环下沉至基站，单基站采用双路由光缆接入，提高传输网络安全可靠性；
- c) 接入层基站冗余备份，提供高安全、高可靠、广覆盖的专网通信接入：
 - 1) 专网基站天线支持定制化方式部署；
 - 2) 专网基站主控和基带等关键单板采用 1+1 主备工作模式，支持业务自动倒换；
- d) 终端层安全管理，为防御终端身份盗用、伪造等威胁，宜采用网络注册认证：
 - 1) 主认证：终端与网络进行双向鉴权和加密认证；
 - 2) 机卡绑定：通过核心网实现终端与 SIM 卡绑定。

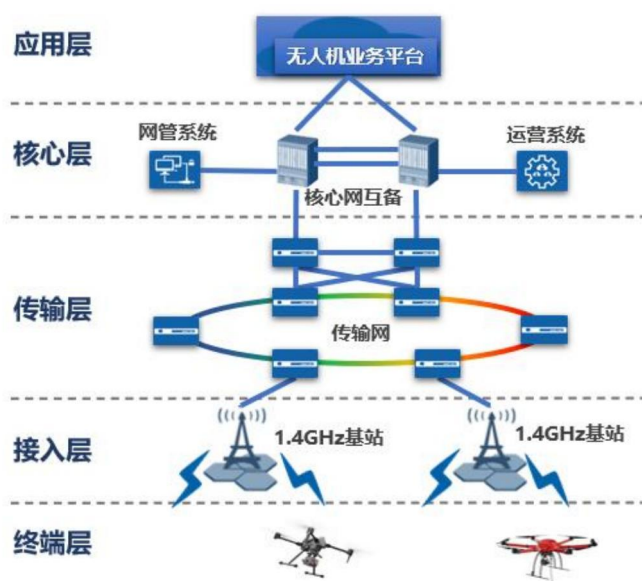


图 5 宽带数字集群专网方案示意图

7.5 其他方案

其他方案需要符合以下要求：

- a) 根据工信部无〔2023〕252号，规定无人驾驶航空器使用频段为1430MHz-1444MHz、2400MHz-2476MHz、5725MHz-5829MHz。1430MHz-1444MHz频段：总带宽14MHz，其中1430MHz-1438MHz频段用于警用无人驾驶航空器和直升机视频传输，其他无人驾驶航空器使用1438MHz-1444MHz频段；
- b) VHF设备技术要求应按照GB/T 14431—1993执行、航空移动通信应按照MH 4001.1—2016执行、VHF地空数据通信应按照MH/T 4028.1—2021执行、VHF话音及数据链通信的技术要求应按照《国际民航公约》附件10（Volume II）执行、VHF频段分配及干扰规避应按照ITU-R SM.1392-2执行；
- c) ADS-B通信：1090MHz扩展电文ADS-B OUT的技术要求及实施应按照MH/T 4036—2012执行。

8 低空通信网络规划建设

8.1 运营商公众网方案规划建设

8.1.1 规划设计

5G低空覆盖电磁波传播损耗 PL 宜采用现有的自由空间模型：

$$PL(db) = 32.45 + 20 * \lg(d) + 20 * \lg(f) + M$$

式中，

d ——距离，单位为千米（km）；

f ——频率，单位为兆赫兹（MHz）；

M ——综合修正因子，单位为分贝（dB）。

a) 2.6GHz+4.9GHz+700MHz 频段方案规划

- 1) 低空场景的规划建议：上行业务速率25Mbps满足度 $\geq 95\%$ ，SSB RSRP ≥ -101 dBm & SSB SINR ≥ -3 dB（异频）/SSB RSRP ≥ -101 dBm & SSB SINR ≥ -6 dB（同频）满足度 $\geq 95\%$ ；
- 2) 设备选型方面：优先选择4.9GHz频段垂直大张角设备，机械倾角 0° 平打；
- 3) 频段规划方面：为降低空地业务互相干扰，优先采用空地异频组网方案，如图6所示；

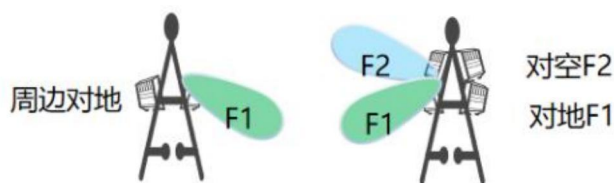


图6 空地异频组网方案

b) 3.5GHz+2.1GHz+900MHz+800MHz 频段方案规划

- 1) 频段规划方面：根据实际需求，选择1个或多个频段进行方案规划；
- 2) 2.1GHz双波束方案（如图7所示）：选取空地一体双波束天线+RRU方式，其中对“地”波束的性能指标与传统宏站天线保持一致，有效确保地面网络的稳定覆盖；对“空”波束兼顾

对“地”波束的信道隔离和对空覆盖的连续性进行设计，可实现对地及对空信号的高效覆盖。在确保地面覆盖网络品质不受影响的前提下，向低空拓展了 5G 基站的覆盖范围，实现从传统地面覆盖向低空区域的立体空间覆盖升级；

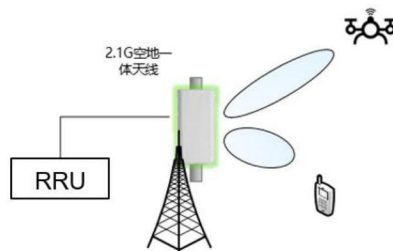


图 7 2.1GHz 双波束天线方案

3) 3.5GHz 双波束方案（如图 8所示）：通过调整 AAU+双波束方式，选取高度、间距合适的基站作为对空覆盖基站，调整 3.5GHz 频段第二载波的波束 pattern、电子倾角和功率等参数，形成合适的对空覆盖波束，并通过调整 SSB 的位置，使之与对地覆盖的小区形成异频组网，减少来自地面基站的干扰。在波束配置时，可根据公网业务量的大小，选择单载波或双载波配置。在低空和地面无法异频组网情况下，需考虑新建独立模块方案覆盖低空。



图 8 3.5GHz 双波束天线方案

8.1.2 站址规划

8.1.2.1 为确保通信服务的可靠性与有效性，基站布局规划宜全面考量起降点、航路航线及重要飞行活动空域的信号覆盖需求。在基站选址与建设过程中，应结合空域结构、飞行活动特性，科学评估通信信号覆盖范围与强度，通过合理的基站密度分布、高度设置及信号参数优化，实现对关键航空设施及空域的无缝覆盖，保障航空通信安全与飞行运行效率。站址规划宜利用现网站点、选用现网设备，完成对地面和低空的同时覆盖。

8.1.2.2 针对低空连片覆盖场景，站址尽量保持理想的蜂窝拓扑结构，为确保实现较好的覆盖效果，实际站址的位置与规划站址位置之间的距离应小于 $1/4 R$ （ R 为小区理论覆盖半径）。

8.1.2.3 由于存在低空之间干扰，优选小区忙时平均 PRB 利用率小于 15%小区。各站址之间尽量形成较理想的拓扑结构，如图 9所示。

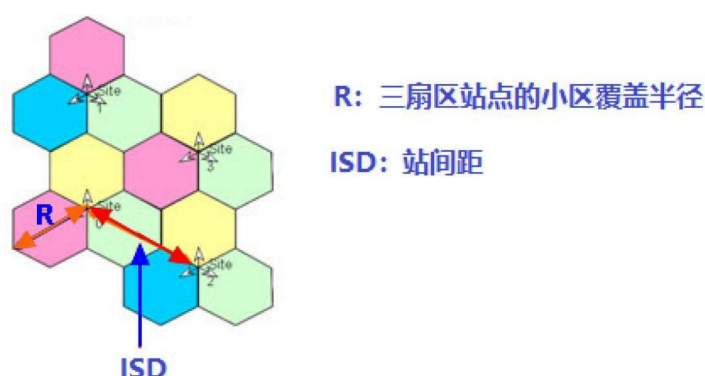


图 9 拓扑结构图

8.1.2.4 针对固定航路航线等线性区域的覆盖需求，基站布局宜采用线性组网模式（如 Z 字型交错覆盖布局），通过合理规划基站间距与发射功率，形成连续且稳定的信号覆盖带。

8.1.2.5 基站站点的选址宜遵循电磁环境与物理环境适配准则，规避存在安全隐患与电磁干扰风险的区域，应规避高温、高粉尘、有害气体聚集的恶劣环境，同时远离易燃易爆场所区域；避免临近持续产生剧烈震动或高强度噪声的场所。在电磁兼容性方面，基站选址应与大功率无线发射台、雷达站等强电磁干扰源保持安全距离，从而保障基站信号传输质量与设备运行可靠性。站址规划时，还需注意周围无明显建筑物遮挡，如天线第一菲涅尔区无遮挡，类似广告牌，空调机柜等，避免信号衰减过快。如无法选择适合的站址，考虑新增站点满足低空覆盖需求；对于丘陵或山区，优先选择有地势优势、相对海拔更高的站址。

8.1.2.6 挂高建议取该区域平均挂高水平，即比周围建筑高 5m 至 10m，确保天线和低空通信接入终端之间尽量保持 LOS 视距，不建议选择过矮和过高站点。

8.1.3 天线

8.1.3.1 运营商公众网方案的基站天线工参设计和方向角与低空通信接入终端的飞行轨迹和飞行高度强相关，在设计天线工参之前需要明确低空通信接入终端的飞行轨迹和高度，是否需要支持从地面起飞到固定高度的整个立体空域的覆盖。需要保证低空通信接入终端飞行轨迹的电平达到业务要求，低空通信接入终端尽可能在 AAU 主瓣覆盖范围内。如果现网无法满足覆盖要求，需要考虑新增站点满足业务覆盖要求。AAU 的工参规划主要包括方向角，机械倾角和权值。

8.1.3.2 利旧站点的方向角建议复用现网的方向角，新建站点的方向角以低空覆盖为第一优先级，其次兼顾地面，方向角之间夹角建议不小于 90° 。机械倾角的权值可根据低空通信接入终端目标高度进行配置，详细规划仍需依据实际的业务需求，包括基于业务速率要求设计的小区半径，低空通信接入终端的飞行高度要求，低空通信接入终端的轨迹以及并发情况，是否需要形成连续的面覆盖还是线覆盖。

8.1.3.3 基于初始方向角，倾角和权值进行网络仿真，宜使用射线追踪模型进行低空仿真，主要研究目标覆盖高度的覆盖情况。

8.1.3.4 由于低空覆盖属于 3D 覆盖场景，需要更宽的垂直维度覆盖能力，且低空场景 LOS 干扰更强，宜优先采用 64T 及以上的 AAU 一体化天线进行低空覆盖，以保障垂直维度的覆盖能力和多天线的干扰抑制能力。

8.1.3.5 对于低空连续覆盖区域，基站规划尽量采用三扇区形式（即相邻两扇区间方位角相差 120° ），

如有实际场景限制，三扇区间的方位角夹角宜不小于 90 度。

8.1.4 干扰控制

8.1.4.1 低空以视距 LOS 传播为主，低空通信接入终端在空中接收了大量来自邻区的信号，邻近区域的数量超过了十几个，在旁瓣覆盖低空场景下，没有主导覆盖同时又有大量信号相当的邻区，导致平均 SINR 下降。

8.1.4.2 干扰控制首先需要从组网的源头上进行控制，由地面公网的旁瓣覆盖改造为低空专网的主瓣覆盖，从而加强空中的主导覆盖，以改善低空的无主导覆盖带来的干扰问题，如大幅改善 SSB SINR。

8.1.4.3 除了组网方式干扰控制外，对于低空小区间的干扰控制可以考虑干扰协同、避让等方式：

- a) CoMP（如图 10所示）：多小区联合收/发，获取收/发分集增益，提升覆盖；

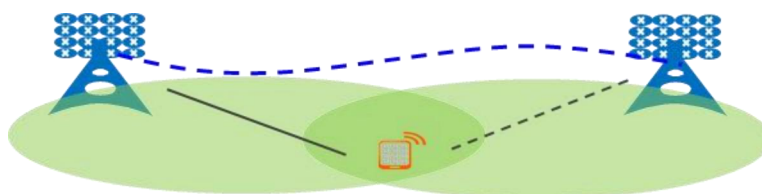


图 10 CoMP 原理示意图

- b) CBF（如图 11所示）：基于 3D MIMO 空域降干扰，干扰邻区的 SRS 波束赋形权值做正交化，波束零陷对准服务小区；

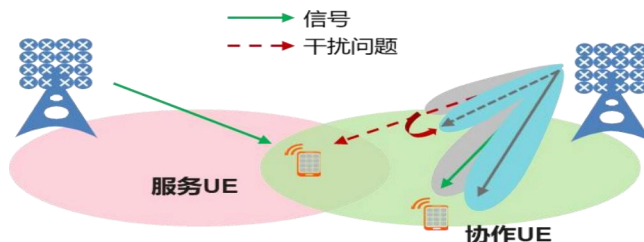


图 11 CBF 原理示意图

- c) CS（如图 12所示）：多小区协同调度，时/频资源分配错开和避干扰。

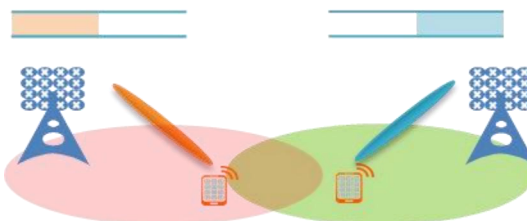


图 12 CS 原理示意图

对于空地干扰控制，除上述干扰协同、避让手段外，还可考虑通过低空通信接入终端用户识别，进行独立协同功率控制，预期可降低对地用户的干扰，如图 13所示：

——基于低空通信接入终端识别，差异化协同功控；

——根据低空通信接入终端距离基站位置远近进行协同功控调整。

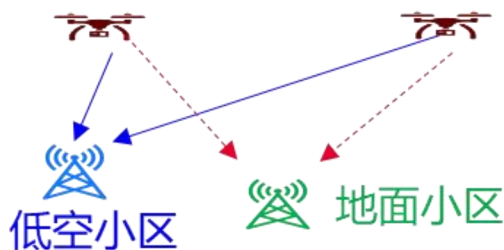


图 13 基于无人驾驶飞行器用户识别的协同功控原理图

对于远端基站干扰，有如下应对的技术方案：

- 减少干扰源：通过控制干扰源部分下行符号不发，减少远端基站干扰影响；
- 干扰抑制：被干扰源解调调度能力提升增强对干扰的抑制；
- 干扰避让：被干扰源 SRS 位置迁移，降低被干扰的影响。

8.2 宽带数字集群专网方案规划建设

8.2.1 站址规划

8.2.1.1 为确保通信服务的广度和服务质量，专网基站宜选取覆盖区域内制高点，确保天线和低空通信接入终端之间尽量保持 LOS 视距，不建议选择过矮站点。

8.2.1.2 为确保通信服务的连续性，站址尽量保持理想的蜂窝拓扑结构。

8.2.2 天线和天馈系统

8.2.2.1 专网基站采用定制化天线进行专项覆盖，利用小区合并技术减少小区间干扰，实现地空联合覆盖。天线的挂高、方位角和俯仰角应符合设计要求，方位角偏差应在 $\pm 5^\circ$ 之内，俯仰角偏差应在 $\pm 1^\circ$ 之内；线辐射的主瓣方向 50 m 范围内，不应有高大建筑物阻挡。所有天线均应在避雷针 45° 保护范围内。天线安装位置应符合工程设计要求，应安装在牢固的支撑物上，天线应安装牢固、稳定，应满足抗风、防雨、防震及散热的要求；安装时应预留足够的维护空间。

8.2.2.1 天馈系统安装应符合 YD/T 5230—2016 的规定。天馈系统的设计应有效覆盖目标航路航线和起降点。

9 验收

9.1 系统验收

9.1.1 起降场（点）通信系统验收

起降场（点）通信系统验收应先审核验收材料，审核合格后通过现场核验方式验收。

9.1.2 低空通信网络系统验收

站区级验收作为验收的第一阶段，确保每个独立站点能够提供基础服务。测试人员将对各站点进行基础业务验证，确认其基本功能正常。站区级通信性能验收宜如表 5 所示。

表 5 站点级通信性能验证项目

序号	测试项目	测试内容
1	定点平均速率	定点平均速率
2	ping 包时延	ping 包时延
		ping包成功率

注：选择一个主测小区的 1 个好点和 1 个差点进行测试，好点一般是指信号强度高（ $-80\text{dBm} \leq \text{SS-RSRP}$ 且 $15\text{dB} \leq \text{SS-SINR}$ ）的点。差点一般是指信号强度低（ $\text{SS-RSRP} \leq -90\text{dBm}$ 且 $\text{SS-SINR} \leq 0\text{dB}$ ）的点。

9.1.2.1 定点平均速率

定点平均速率需要符合以下要求：

- a) 预置条件
 - 1) 选择一个主测小区地面定点（1 个好点、1 个差点）测试，确保被测小区运行正常，无故障及告警；
 - 2) 测试小区周围 5km 内的基站已完成 D0/D5 Slot 打孔；
 - 3) 无系统外干扰（系统后台同步监测 RSSI 底噪）；
- b) 测试步骤
 - 1) 步骤 1：邻小区轻载或空载；
 - 2) 步骤 2：将测试终端放置在预定的测试点，在选定的测试点（好点及差点）分别测试；
 - 3) 步骤 3：测试终端进行满 buffer 下行 TCP 业务，稳定后保持至少 30s 以上；记录 L2 吞吐量；记录 RSRP、CQI、SINR、MCS、MIMO 方式等信息；
 - 4) 步骤 4：测试终端进行满 buffer 上行 TCP 业务，重复步骤 3；
- c) 输出结果：统计在好点及差点的平均速率并输出。

9.1.2.2 ping 包时延

ping包时延需符合以下要求：

- a) 预置条件
 - 1) 选择一个主测小区地面定点（1 个好点、1 个差点）测试，确保被测小区运行正常，无故障及告警；
 - 2) 测试小区周围 5km 内的基站已完成 D0/D5 Slot 打孔，无系统外干扰（系统后台同步监测 RSSI 底噪）；
- b) 测试步骤
 - 1) 步骤 1：邻小区开启；
 - 2) 步骤 2：测试终端处于主测小区内覆盖“好”点；
 - 3) 步骤 3：测试终端接入系统，分别发起 32Bytes、2000Bytes ping 包，重复 ping 100 次；
 - 4) 步骤 4：测试终端处于主测小区内覆盖“差”点，重复步骤 3；
- c) 输出结果：统计在好点及差点的平均时延并输出。

9.2 网络验收

9.2.1 运营商公众网方案验收

9.2.1.1 概述

运营商公众网方案验收整体需符合以下要求：

- a) 低空业务类型丰富，为保障业务正常进行，需根据业务需求制定面向不同场景的吞吐量及时延指标，验收业务指标宜包含业务吞吐量、覆盖率、连续性、时延、切换成功率等，如表 6 所示。低空应用网络验收指标参数宜根据具体低空应用场景通信需求指标确定。
- b) 站点级验收完成 80%之后，可以启动网络级验收。网络级验收作为验收的第二阶段，测试连片空间区域内的性能表现。通过全面测试，验证网络是否达到预期的服务质量标准，确保用户在空间区域内的绝大多数位置都能享受到稳定可靠的通信网络服务。
- c) 测试框图如图 13和图 14 所示。

表 6 网络级通信性能验证项目

序号	测试项目	测试内容
1	吞吐量	在立体空间中飞行拉网测试上行上传、下行下载速率
2	覆盖率	在立体空间中飞行拉网测试稳定提供预期性能服务时的空间占比
3	连续性	在立体空间中飞行拉网测试达到预期性能服务的时间段
4	时延	在立体空间中飞行拉网测试航线上的平均时延
5	切换成功率	在立体空间中飞行拉网测试航线上的切换成功率、切换时延

注：测试航线宜根据场景需求、被测区域涉及的站点、小区间切换等情况综合考虑设定。

9.2.1.2 吞吐量

吞吐量需符合以下要求：

- a) 预置条件
 - 1) 按照图 14布置；
 - 2) 结合前文所述轨迹划定测试区域，按照场景需求，选择典型业务航线作为测试航线，双向
 - 3) 飞行测试；
 - 4) 测试小区周围 5km 内的基站已完成 D0/D5 Slot 打孔，且无系统外干扰（系统后台同步监测 RSSI 底噪）；

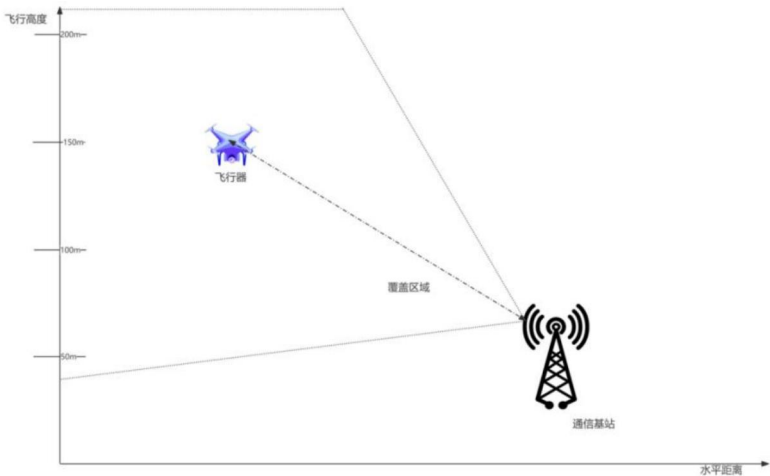


图 14 性能测试示意图

b) 测试步骤

- 1) 步骤 1: 设置基站正常工作状态;
- 2) 步骤 2: 对无人驾驶飞行器设定飞行轨迹, 并上传到测试无人驾驶飞行器上;
- 3) 步骤 3: 搭建测试环境 (例如: FTP、iperf3 服务器); 配置测试参数 (测试时长、测试数据量、QoS 配置策略等); 测试终端 (安装在无人驾驶飞行器上) 进行满 buffer 上行 TCP 业务, 记录 L2 吞吐量; 记录 RSRP、CQI、SINR、MCS、MIMO 方式、位置 (稳定提供预期性能服务时) 等信息;
- 4) 测试步骤 4: 上传数据, 生成统计报告;

c) 输出结果: 统计测试航线上的平均速率、峰值速率并输出。

9.2.1.3 覆盖率

覆盖率需符合以下要求:

a) 预置条件

- 1) 按照图 14 布置;
- 2) 根据被测空间大小及场景需求, 选择合适的航线间距、参考信号空间模型, 定义栅格的采样密度, 双向飞行测试;
- 4) 测试小区周围 5km 内的基站已完成 D0/D5 Slot 打孔, 且无系统外干扰 (系统后台同步监测 RSSI 底噪)。

b) 测试步骤

- 1) 步骤 1: 设置基站正常工作状态;
- 2) 步骤 2: 对无人驾驶飞行器设定飞行轨迹, 并上传到测试无人驾驶飞行器上;
- 3) 步骤 3: 搭建测试环境 (例如: FTP、iperf3 服务器); 配置测试参数 (测试时长、测试数据量、QoS 配置策略等); 测试终端 (安装在无人驾驶飞行器上) 进行满 buffer 上行 TCP 业务, 记录 L2 吞吐量; 记录 RSRP、CQI、SINR、MCS、MIMO 方式、位置 (稳定提供预期性能服务时) 等信息;
- 4) 步骤 4: 统计满足条件的栅格数、被测空间的总栅格数;

c) 输出结果: 根据覆盖率定义计算并输出结果, 即覆盖率=满足条件的栅格数/被测空间的总栅格数*100%。

9.2.1.4 连续性

连续性需符合以下要求:

a) 预置条件

- 1) 按照图 15 布置;
- 2) 根据被测空间大小及场景需求, 选择典型业务航线作为测试航线, 双向飞行测试;
- 3) 测试小区周围 5km 内的基站已完成 D0/D5 Slot 打孔, 且无系统外干扰 (系统后台同步监测 RSSI 底噪);

b) 测试步骤

- 1) 步骤 1: 设置基站工作状态正常;
- 2) 步骤 2: 对无人驾驶飞行器设定飞行轨迹, 并上传到测试无人驾驶飞行器上;
- 3) 步骤 3: 配置测试计划 (配置数据类测试业务, 如 FTP/Iperf 业务等), 测试终端 (安装在无人机上) 记录测试数据;
- 4) 步骤 4: 根据场景需求, 在给定的时间内发送数据包, 同步监测应用需求 (如速率、时延等指标), 记录达到预期性能服务的时间段;

- 5) 步骤 5: 上传数据, 生成统计报告;
- c) 输出结果: 根据连续性定义计算并输出结果, 即连续性=达到预期性能服务的时间段/总时长*100%。

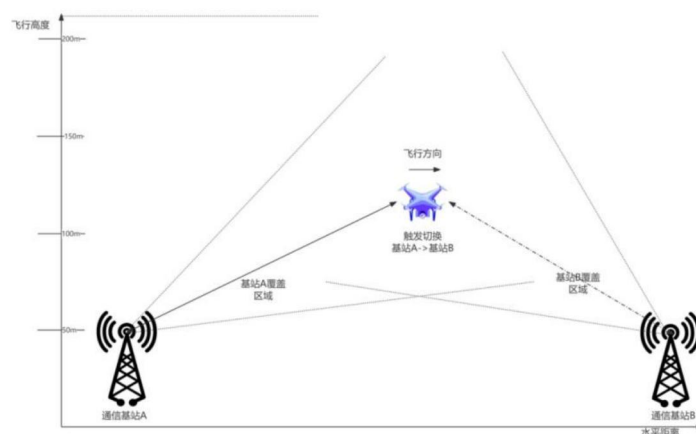


图 15 切换测试示意图

9.2.1.5 时延

时延需符合以下要求:

- a) 预置条件
- 1) 按照图 14 布置;
 - 2) 根据被测空间大小及场景需求, 选择典型业务航线作为测试航线, 双向飞行测试;
 - 3) 测试小区周围 5km 内的基站已完成 D0/D5 Slot 打孔, 且无系统外干扰 (系统后台同步监测 RSSI 底噪);
- b) 测试步骤
- 1) 步骤 1: 设置基站工作状态正常;
 - 2) 步骤 2: 根据测试航线对无人驾驶飞行器设定飞行轨迹, 并上传到测试无人驾驶飞行器上;
 - 3) 步骤 3: 确保测试设备时钟同步校准, 并配置时间戳精度; 配置被测系统与测试设备物理连接; 消除非必要的中继节点;
 - 4) 步骤 4: 配置测试计划 (配置数据类测试业务, 如 Ping 业务等), 测试终端 (安装在无人驾驶飞行器上) 记录端到端时延测试数据;
 - 5) 步骤 5: 上传数据, 生成统计报告;
- c) 输出结果: 统计测试航线上的平均时延并输出。

9.2.1.6 切换成功率

切换成功率需符合以下要求:

- a) 预置条件
- 1) 按照图 15 布置;
 - 2) 根据被测空间大小及场景需求, 选择典型业务航线作为测试航线, 双向飞行测试;
 - 3) 测试小区周围 5 km 内的基站已完成 D0/D5 Slot 打孔, 且无系统外干扰 (系统后台同步监测 RSSI 底噪);
- b) 测试步骤

- 4) 步骤 1：设置基站工作状态正常；
 - 5) 步骤 2：根据测试航线对无人驾驶飞行器设定飞行轨迹，并上传到测试无人驾驶飞行器上；
 - 6) 步骤 3：确认测试无人驾驶飞行器支持待测的频段，设置自由模式；
 - 7) 步骤 4：记录切换事件的时间戳（切换请求 HO Request 与完成 HO Complete 信令时间戳）、切换结果；同步记录 RSRP、CQI、SINR、MCS、MIMO 方式、cell ID、位置等信息；
- c) 输出结果：统计测试航线上的切换成功率、切换时延并输出。

9.2.2 卫星方案验收

9.2.2.1 概述

低空通信卫星方案的验收测试应在被测物与卫星指向间可视无遮挡条件下进行，卫星终端属于在网状态且有专业调试人员配合、卫星公司需配合验证。低空应用网络验收指标参数宜根据具体低空应用场景通信需求确定，宜参考表 1 和表 2。

9.2.2.2 频率测试

频率测试需符合以下要求：

- a) 预置条件：按照图 16 布置；

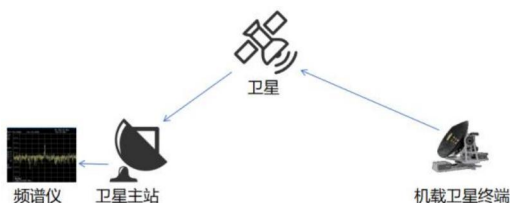


图 16 频率测试图

- b) 测试步骤

- 1) 步骤 1：卫星终端已正常入网；
- 2) 步骤 2：卫星终端切换到测试发射模式；
- 3) 步骤 3：卫星终端按照卫星公司要求配置发射参数；

- c) 输出结果：记录卫星公司频谱仪显示的频率信息，截屏存图。

9.2.2.3 传输速率测试

传输速率测试需符合以下要求：

- a) 预置条件：按照图 17 布置；

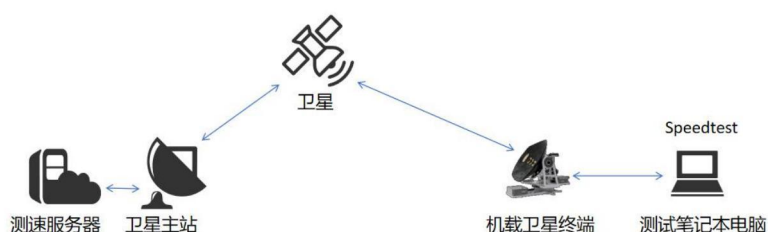


图 17 传输速率测试图

- b) 测试步骤

- 1) 步骤 1：卫星终端已正常入网；

- 2) 步骤 2: 笔记本测试电脑连接卫星终端;
- 3) 步骤 3: 通过笔记本测试电脑访问卫星公司的测速服务器, 进行实时测速;
- c) 输出结果: 记录卫星公司的测速服务器展示的所有实时速率, 截屏存图。

9.2.2.4 高速移动测试

高速移动测试需符合以下要求:

- a) 预置条件: 按照图 18 布置;

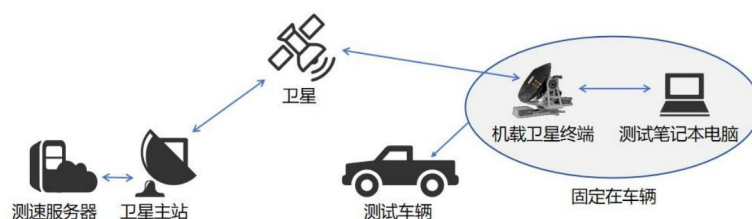


图 18 高速移动测试图

b) 测试步骤

- 1) 步骤 1: 卫星终端已正常入网;
- 2) 步骤 2: 笔记本测试电脑连接卫星终端;
- 3) 步骤 3: 静止状态: 卫星终端通过笔记本测试电脑发起 ping 业务, 发送 100 个具有 32 字节的数据包;
- 4) 步骤 4: 运动状态: 卫星终端放置在移动速度达到 120km/h 的测试车辆上, 通过笔记本测试电脑发起 ping 业务, 发送 100 个具有 32 字节的数据包;
- c) 输出结果: 记录时速达 120km/h 时间段的 ping 包结果, 截屏存图。

9.2.2.5 时延测试

时延测试需符合以下要求:

- a) 预置条件: 按照图 19 布置;

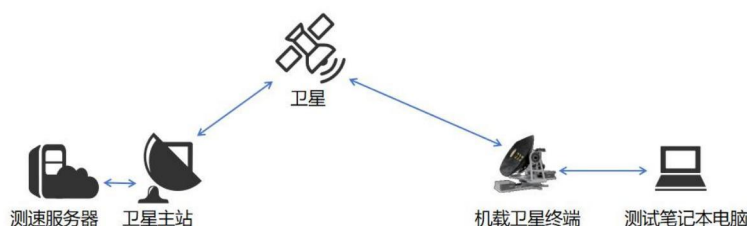


图 19 时延测试图

b) 测试步骤

- 1) 步骤 1: 卫星终端已正常入网;
- 2) 步骤 2: 笔记本测试电脑连接卫星终端;
- 3) 步骤 3: 卫星终端通过笔记本测试电脑发起 ping 业务, 发送 100 个具有 32 字节的数据包;
- c) 输出结果: 记录 ping 包的时延结果, 截屏存图。

9.2.2.6 卫星使用范围测试

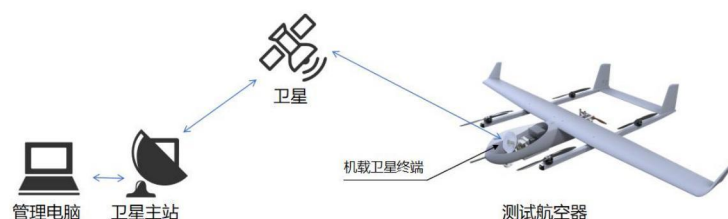


图 20 使用范围测试图

卫星使用范围测试需符合以下要求：

- a) 预置条件：按照图 20 布置。
- b) 测试步骤
 - 1) 步骤 1：卫星终端已正常入网；
 - 2) 步骤 2：卫星终端随飞行器进行实际飞行验证，真高达 1000 米；
 - 3) 步骤 3：通过卫星主站长 ping 卫星终端地址；
- c) 输出结果：记录飞行器真高达 1000 米时，记录 ping 包结果，截屏存图。

9.2.2.7 覆盖率

覆盖率需符合以下要求：

- a) 预置条件：按照图 21 布置。
- b) 测试步骤
 - 1) 步骤 1：卫星终端已正常入网；
 - 2) 步骤 2：根据被测空间大小及场景需求，设定低空测试航路航线和测试飞行区域，卫星终端随飞行器在覆盖范围内进行实际飞行验证；
 - 3) 步骤 3：通过卫星主站管理电脑监测卫星终端的接收信号、发射信号强度、业务速率和时延等业务指标，并记录达到预期性能服务的空间位置，截屏存图；
- c) 输出结果
 - 1) 步骤 1：统计在低空测试航路航线和测试飞行区域内，低空卫星通信网络能够稳定提供预期性能服务的空间位置；
 - 2) 步骤 2：根据覆盖率定义，计算结果，即覆盖率=在低空航路航线和飞行区域内，低空卫星通信网络能够稳定提供预期性能服务的空间占总空间的百分比。

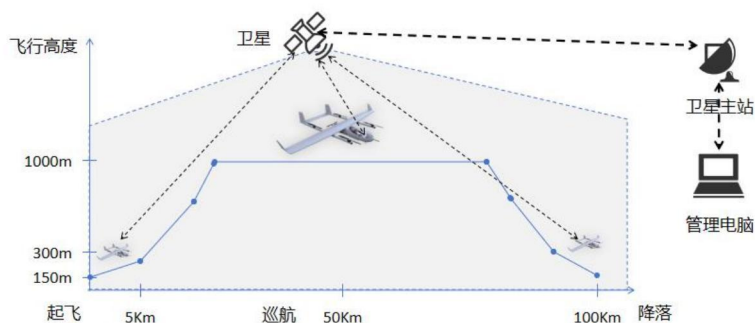


图 21 卫星覆盖率和连续性测试图

9.2.2.8 卫星信号连续性

卫星信号连续性需符合以下要求：

- a) 预置条件：按照图 21 布置；
- b) 测试步骤
 - 1) 步骤 1：卫星终端已正常入网；
 - 2) 步骤 2：卫星终端随飞行器在覆盖范围内进行实际飞行验证，记录起飞和降落时间；
 - 3) 步骤 3：通过卫星主站管理电脑监测卫星终端的业务速率和时延等业务指标，记录在固定时间内达到预期性能服务的时间段和总时长，并截屏存图；
- c) 输出结果：统计在低空航路航线和飞行区域内，低空卫星通信网络能够在固定时间内达到预期性能服务的时间段和总时长，计算结果，即连续性=达到预期性能服务的时间段/总时长*100%。

9.2.3 宽带数字集群专网方案验收

9.2.3.1 概述

宽带数字集群专网验收指标主要包含吞吐量、覆盖率、连续性、时延。低空应用网络验收指标参数宜根据具体低空应用场景通信需求确定，宜参考表 1 和表 2。

9.2.3.2 吞吐量

吞吐量需符合以下要求：

- a) 预置条件
 - 1) 按照图 22 布置；
 - 2) 根据被测空间大小及场景需求，选择典型业务航线作为测试航线，双向飞行测试；
 - 3) 搭建测试环境，在核心网侧搭建测试服务器，例如：FTP、iperf3 服务器；

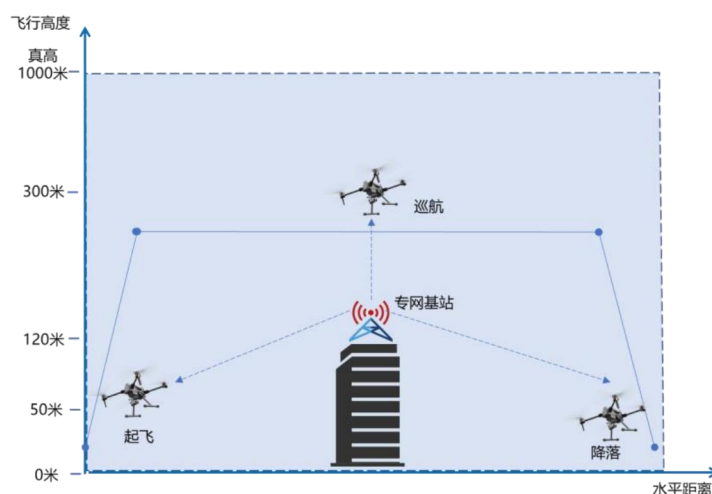


图 22 专网性能测试示意图

b) 测试步骤

- 1) 步骤 1：确定相关基站工作状态正常；
- 2) 步骤 2：设定无人驾驶飞行器飞行轨迹，并上传到测试无人驾驶飞行器上；
- 3) 步骤 3：配置测试参数（测试时长、测试数据量等）；

4) 步骤 4: 测试终端 (安装/固定在无人驾驶飞行器上) 进行满 buffer 上行 TCP 业务, 记录 L2 吞吐量; 记录 RSRP、SINR、MCS、MIMO 方式、位置 (稳定提供预期性能服务时) 等信息;

c) 输出结果: 统计所有飞行轨迹汇总后的平均下行速率、平均上行速率、峰值下行速率、峰值上行速率等指标。

9.2.3.3 覆盖率

覆盖率需符合以下要求:

a) 预置条件

1) 按照图 22 布置;

2) 根据被测空间大小及场景需求, 选择合适的航线间距, 定义栅格的采样密度, 双向飞行测试;

3) 搭建测试环境, 在核心网侧搭建测试服务器, 例如: FTP、iperf3 服务器。

b) 测试步骤

1) 步骤 1: 确定相关基站工作状态正常;

2) 步骤 2: 设定无人驾驶飞行器飞行轨迹, 并上传到测试无人驾驶飞行器上;

3) 步骤 3: 配置测试参数 (测试时长、测试数据量等);

4) 步骤 4: 测试终端 (安装/固定在无人驾驶飞行器上) 进行满 buffer 上行 TCP 业务, 记录 L2 吞吐量; 记录稳定提供预期性能服务时的 RSRP、SINR、MCS、MIMO 方式、位置 (稳定提供预期性能服务时) 等信息;

5) 步骤 5: 统计满足条件的栅格数、被测空间的总栅格数;

c) 输出结果: $\text{覆盖率} = \text{满足条件的栅格数} / \text{被测空间的总栅格数} \times 100\%$ 。

9.2.3.4 连续性

连续性需符合以下要求:

a) 预置条件

1) 按照图 23 布置;

2) 根据被测空间大小及场景需求, 选择合适的航线间距, 双向飞行测试;

3) 搭建测试环境, 在核心网侧搭建测试服务器, 例如: FTP、iperf3 服务器;

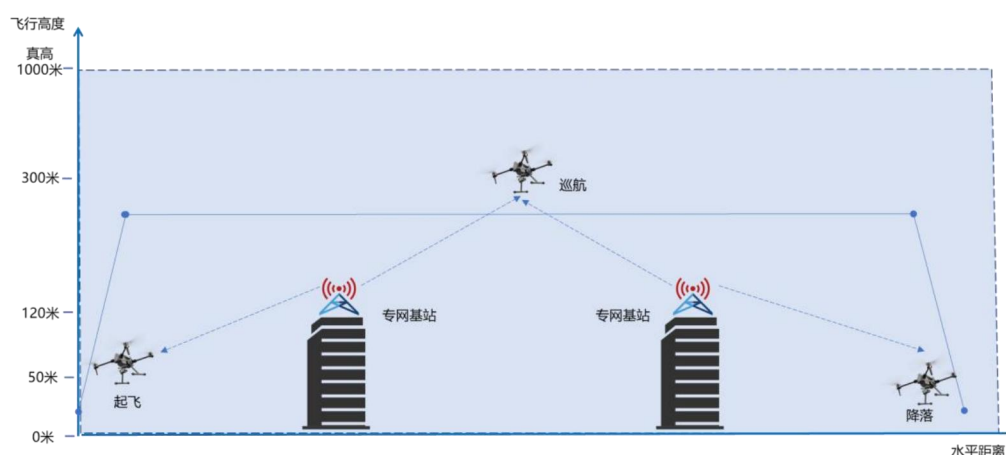


图 23 专网连续性测试示意图

b) 测试步骤

- 1) 步骤 1：确定基站工作状态正常；
- 2) 步骤 2：设定无人驾驶飞行器飞行轨迹，并上传到测试无人驾驶飞行器上；
- 3) 步骤 3：配置测试参数（测试时长、测试数据量等）；
- 4) 步骤 4：在给定的时间内发送数据包，同步监测应用需求（如速率、时延、切换请求次数、切换成功次数等指标）；
- 5) 步骤 5：记录达到预期性能服务的时间段、同步记录 RSRP、CQI、SINR、MCS、MIMO 方式、cell ID、位置等信息；

c) 输出结果

- 1) 统计所有飞行轨迹汇总后的网络连续性结果；
- 2) 连续性=达到预期性能服务的时间段/总时长*100%；
- 3) 切换成功率=切换成功次数/切换请求次数*100%。

9.2.3.5 时延

时延需符合以下要求：

a) 预置条件

- 1) 按照图 22 布置；
- 2) 根据被测空间大小及场景需求，选择典型业务航线作为测试航线，双向飞行测试；
- 3) 搭建测试环境，在核心网侧搭建测试服务器；

b) 测试步骤

- 1) 步骤 1：邻小区开启；
- 2) 步骤 2：根据被测空间大小及场景需求，选择典型业务航线作为测试航线，双向飞行测试；测试终端处于主测小区内覆盖“好”点；
- 3) 步骤 3：配置测试计划（配置数据类测试业务，如 Ping 业务等），测试终端（安装在无人驾驶飞行器上）记录端到端时延测试数据；

c) 输出结果：统计测试航线上的平均 ping 包时延、抖动。

参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国国务院、中华人民共和国中央军事委员会令第 761 号《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》
 - [2] 中国民用航空局《国家空域基础分类方法》
 - [3] 工信部无〔2015〕59 号《关于 1447–1467 兆赫兹（MHz）频段宽带数字集群专网系统频率使用事宜的通知》
 - [4] 工信部无〔2023〕28 号《对地静止轨道卫星动中通地球站管理办法》
 - [5] 工信部无〔2023〕252 号《民用无人驾驶航空器无线电管理暂行办法》
 - [6] GB 42590—2023 民用无人驾驶航空器系统安全要求
 - [7] YD/T 3585—2019 民用无人驾驶航空器的通信应用场景与需求
-